



L'auto-mobilité au tournant du millénaire : une approche emboîtée, individuelle et longitudinale

Richard Grimal

► To cite this version:

Richard Grimal. L'auto-mobilité au tournant du millénaire : une approche emboîtée, individuelle et longitudinale. Sociologie. Université de Paris Est, 2015. Français. NNT: . tel-01313626

HAL Id: tel-01313626

<https://hal.science/tel-01313626>

Submitted on 20 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE PARIS EST

Ecole Doctorale Organisations, Marchés, Institutions (OMI)

L'AUTO-MOBILITE AU TOURNANT DU MILLENAIRE

Une approche emboîtée, individuelle et longitudinale

Thèse pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Economie

Présentée et soutenue publiquement par

Richard GRIMAL

Sous la direction de Monsieur Jean-Loup MADRE

2 Décembre 2015

Membres du jury:

Yannick L'HORTY, Professeur des Universités, Université de Paris Est,
Président du jury

Phil GOODWIN, Professor, University of the West of England, Centre for
Transport and Society, rapporteur

Dirk ZUMKELLER, Professor, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für
Verkehrswesen, rapporteur

Jean-Loup MADRE, Chercheur émérite à l'IFSTTAR, Directeur de thèse

Jean-Pierre NICOLAS, Chercheur au Laboratoire d'Economie des Transports
à l'ENTPE, chargé de recherche au CNRS

Joël MEISSONNIER, chercheur à l'ERA Mob, CEREMA, DTer Nord-Picardie

Remerciements

Au terme de ces quatre années de labeur, et alors que ce travail touche à sa fin, le moment est venu de « rendre à César ce qui est à César », et d'adresser mes remerciements à tous ceux qui ont contribué rendre possible la soutenance de cette thèse, ainsi qu'à en permettre la bonne réalisation. Tout d'abord, j'adresse mes plus vifs remerciements à mon directeur de thèse, Jean-Loup MADRE, pour sa confiance, sa gentillesse, pour ses relectures attentives et ses annotations toujours pertinentes. Je tiens également à remercier les auteurs du DEST avec lesquels j'ai été amené à coopérer pour la rédaction d'articles, ou qui ont relu certaines de mes productions et m'ont permis de les améliorer en y apportant leur expertise dans le domaine de la mobilité. Mes remerciements s'adressent donc également à Roger COLLET pour sa contribution à l'article publié dans Transport Reviews, à Jean-Paul HUBERT pour son conseil lors de la rédaction de mon article pour la revue Economie et Statistiques, ainsi qu'à Francis PAPON, directeur du laboratoire Dynamiques Economiques et Sociales des Transports (DEST) au sein de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), et à toute l'équipe du DEST. Mes remerciements vont aussi au Centre d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) et plus particulièrement à la Division Technique Infrastructures Transports et Matériaux (DTecITM) qui m'a permis d'investir du temps sur un sujet aussi passionnant, dans le cadre d'une coopération rapprochée entre le CEREMA et l'IFSTTAR. Mes remerciements s'adressent aussi bien à Xavier DELACHE, Pascal CHAMBON, et Pascaline COUSIN, mes anciens supérieurs hiérarchiques, qu'à mes supérieurs actuels, François COMBES et Yves ROUGIER, qui m'ont accordé leur confiance et leur soutien pour mener ce projet à son terme. Sans pouvoir tous les nommer, je n'oublie pas l'ensemble de mes collègues du CEREMA qui m'ont régulièrement témoigné leur intérêt et leurs encouragements. Mes pensées vont plus globalement vers tous ceux qui m'ont accordé leur confiance et m'ont insufflé le courage nécessaire pour parvenir au bout. Ils se reconnaîtront et me pardonneront de les laisser dans l'ombre. Pour finir, je dédie cette thèse à ma famille dont le soutien moral et l'affection m'ont accompagné tout au long de ces années. J'en profite pour adresser un clin d'œil à ma sœur aînée, qui avait l'habitude de m'appeler « le chercheur », parce qu'on me demandait toujours d'aller chercher quelque chose. Eh bien, elle ne croyait pas si bien dire...

« Si une plante ne peut vivre selon sa nature, elle dépérit ; un homme, de même »

David Henry Thoreau

Introduction générale.....	11
CHAPITRE I – UNE INFLEXION DANS LES COMPORTEMENTS DE MOBILITE.....	15
I.1) Introduction générale : la civilisation de l'automobile et ses différentes dimensions.....	16
<i>I.1.a) Les transports à l'âge industriel : de l'essor des transports motorisés à la civilisation de l'automobile.....</i>	<i>16</i>
<i>I.1.b) La place centrale de l'automobile dans les sociétés contemporaines.....</i>	<i>19</i>
<i>I.1.b.1) L'automobile, une composante fondamentale des modes de vie, qu'elle contribue tout à la fois à refléter et à transformer.....</i>	<i>19</i>
<i>I.1.b.2) Une contribution décisive à l'activité économique et à la consommation des ménages.....</i>	<i>21</i>
<i>I.1.b.3) Une forte dimension symbolique.....</i>	<i>28</i>
- <i>En tant qu'enjeu politique et collectif.....</i>	<i>28</i>
- <i>Dans l'imaginaire des consommateurs.....</i>	<i>29</i>
I.2) Au cours de la seconde moitié du vingtième siècle, l'auto-mobilité n'a cessé de progresser..	29
<i>I.2.a) La mobilité : définitions et sources.....</i>	<i>29</i>
<i>I.2.a.1) Définitions : mobilité locale, régulière, longue distance.....</i>	<i>29</i>
<i>I.2.a.2) Sources : Enquêtes Nationales Transport, Enquêtes Ménages Déplacements, panel ParcAuto.....</i>	<i>30</i>
<i>I.2.b) Les invariants de la mobilité : la fréquence de déplacements et le budget-temps quotidien en moyenne stables sur longue période.....</i>	<i>33</i>
<i>I.2.c) La diffusion de l'automobile a transformé les comportements de mobilité.....</i>	<i>34</i>
<i>I.2.c.1) Des ménages et des adultes de plus en plus motorisés.....</i>	<i>34</i>
- <i>Le parc des véhicules particuliers s'est accru à un rythme soutenu mais qui ralentit progressivement.....</i>	<i>34</i>
- <i>La proportion de ménages motorisés a augmenté.....</i>	<i>35</i>
- <i>Au fil du temps, la demande s'est reportée vers le multi-équipement, faisant de l'automobile un bien de plus en plus individuel.....</i>	<i>36</i>
- <i>Le taux de motorisation individuel s'est accru.....</i>	<i>37</i>

- Les seniors et les femmes apportent à présent la contribution la plus forte à la croissance de l'équipement et de la mobilité en voiture.....	38
- Une diffusion qui demeure inachevée.....	39
- Le parc automobile de plus en plus dieselisé et d'occasion.....	39
I.2.c.2) Une transformation des comportements de mobilité.....	41
- La part modale de la voiture a nettement augmenté, tant pour les déplacements quotidiens qu'à longue distance.....	41
- Les modes alternatifs à la voiture ont décliné.....	42
- Les vitesses et les distances moyennes de déplacements ont augmenté..	42
- Le kilométrage annuel moyen par adulte parcouru en voiture a augmenté, tout comme la circulation automobile totale.....	42
- Le multi-équipement entraîne une spécialisation croissante de l'usage des véhicules.....	43
I.2.c.3) Les déterminants de la mobilité ont évolué.....	43
- Les comportements se sont homogénéisés au regard des facteurs socio-démographiques.....	43
- Les contrastes territoriaux se sont accentués.....	46
- Les lignes de clivage se déplacent.....	49
I.3) Depuis le tournant du millénaire, une inflexion significative des comportements.....	51
I.3.a) Un ralentissement dans la croissance des distances et vitesses de déplacements.....	52
I.3.a.1) Les distances et vitesses des déplacements quotidiens se stabilisent.....	52
I.3.a.2) La fréquence des déplacements à longue distance ralentit sa progression..	53
I.3.b) Les transitions des mobilités dans les zones densément urbanisées.....	53
I.3.b.1) Pour la première fois depuis la guerre, la fréquence des déplacements quotidiens réalisés en voiture recule dans les grandes agglomérations.....	53
I.3.b.2) Au profit des modes « alternatifs », qui connaissent un renouveau.....	55
- Le renouveau des transports en commun.....	56
- Le retour des modes actifs en ville.....	57

- L'essor des deux-roues motorisés.....	60
I.3.b.3) Les déplacements vers le travail restent dépendants de l'automobile.....	61
I.3.b.4) L'émergence d'alternatives « servicielles » à la possession d'un véhicule personnel.....	63
I.3.c) Des évolutions analogues pour la longue distance.....	64
I.3.d) Le plafonnement de l'usage de la voiture.....	64
I.3.d.1) La circulation automobile plafonne globalement en France depuis 2003.....	64
I.3.d.2) L'utilisation de chaque véhicule décline.....	67
I.3.d.3) Cette tendance est commune à l'ensemble des pays développés.....	67
I.3.d.4) L'utilisation de la voiture dé-corrélée d'avec la croissance économique.....	69
I.3.d.5) Des tendances à la dé-motorisation.....	70
I.3.d.6) L'hypothèse du « <i>peak car (travel)</i> »	72

CHAPITRE II : INTERPRETATION - DE L'ANALYSE DES CAUSES DU « PEAK CAR » A LA MODELISATION DE L'AUTO-MOBILITE.....75

II.1) Les causes du « <i>peak car</i> ».....	76
II.1.a) <i>Revue générale de la littérature</i>	76
II.1.a.1) <i>Causes économiques : prix des carburants, récession de 2009, etc</i>	81
II.1.a.2) <i>La volonté de maîtriser l'évolution des budgets-temps de transport</i>	85
II.1.a.3) <i>L'hypothèse de saturation de la demande</i>	88
II.1.a.4) <i>Le déclin de l'efficacité relative de la voiture, en lien avec de nouvelles politiques publiques de transport et d'aménagement</i>	100
II.1.a.5) <i>Des effets de structure:ré-urbanisation et vieillissement de la population</i>	102
II.1.a.6) <i>Des changements dans les préférences, les attitudes et les opinions à l'égard de la voiture</i>	108
II.1.a.7) <i>Technologies de la communication et déplacements liés aux activités</i>	110
II.1.b) <i>Le processus d'ajustement aux augmentations de prix des carburants</i>	113

II.1.b.1) Mécanismes d'adaptation à court terme et à long terme.....	113
II.1.b.2) Une capacité d'adaptation hétérogène en fonction du lieu de résidence et du niveau de vie.....	119
II.1.c) La contribution des « jeunes adultes ».....	122
II.1.d) Vers une hiérarchisation des différentes hypothèses.....	136
II.2) Facteurs de diffusion de l'automobile et facteurs d'usage des véhicules.....	139
II.2.a) Trafic automobile, taux de motorisation et pouvoir d'achat énergétique.....	139
II.2.a.1) Jusqu'aux années 2000, la croissance du trafic est indexée sur celle du taux de motorisation des adultes.....	139
II.2.a.2) Depuis les années 2000, une dé-corrélation entre trafic et taux d'équipement.....	145
II.2.a.3) L'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés fluctue en fonction du pouvoir d'achat énergétique.....	147
II.2.a.4) Une stratégie de maîtrise du coefficient budgétaire énergétique.....	150
II.2.a.5) Modélisation sur séries temporelles.....	152
-Spécification du modèle.....	152
-Estimation.....	156
-Prévision.....	159
II.2.a.6) Une transition dans les comportements de mobilité ou une réaction de caractère habituel à une hausse de caractère exceptionnel ?.....	162
II.2.a.7) Des adaptations réversibles ou pérennes ?.....	166
II.2.b) Déterminants transversaux, déterminants longitudinaux et facteurs de croissance du taux de motorisation.....	166
II.2.b.1) Facteurs d'hétérogénéité du taux de motorisation.....	166
-Les déterminants de l'accès au permis de conduire.....	166
-Les déterminants de l'accès à un véhicule personnel chez les détenteurs du permis de conduire.....	171
II.2.b.2) Facteurs de variation de la motorisation au cours du temps.....	177
II.2.b.3) Facteurs de croissance du taux de motorisation.....	179
II.2.b.4) Les différentes étapes de la diffusion d'un bien durable.....	180
II.2.b.5) La question des véhicules additionnels : enfants majeurs, véhicules spécialisés pour les loisirs.....	183
II.2.c) Des besoins qui augmentent, des contraintes financières qui s'accroissent.....	184
II.2.c.1) L'usage de la voiture entre besoins, contraintes et préférences.....	184
II.2.c.2) Depuis les années 2000, un renforcement des contraintes financières avec l'augmentation des prix des carburants d'abord, puis avec la crise économique....	186
II.2.c.3) La diffusion du permis de conduire et de l'automobile se rapproche de la saturation.....	186
II.2.c.4) Une augmentation paradoxale des besoins.....	187
II.2.d) Dépendance automobile et vulnérabilité aux augmentations de prix de l'énergie...	188

II.3) Justification d'une approche emboîtée, individuelle et longitudinale de l'auto-mobilité....192

II.3.a) L'auto-mobilité comme une succession de choix emboîtés.....192

II.3.b) Une approche individuelle et segmentée selon le genre.....194

II.3.c) Contribution décisive des approches longitudinales.....197

II.3.c.1) Les modèles usuels basés sur estimations en coupe transversale et leurs hypothèses implicites.....197

II.3.c.2) Estimations transversales et longitudinales ne sont pas équivalentes.....199

II.3.c.3) Les conditions nécessaires pour pouvoir considérer les estimations transversales et longitudinales comme équivalentes.....201

II.3.c.4) Des conditions souvent violées dans la pratique.....216

II.3.c.5) Les processus économiques sous-jacents aux violations des conditions d'équivalence.....218

II.3.c.6) Effets de génération, de cycle de vie et de période.....226

CHAPITRE III - ANALYSE ET MODELISATION SEQUENTIELLE DE L'AUTO-MOBILITE.....230

Introduction.....231

III.1) Analyse descriptive des déterminants de l'auto-mobilité d'après *ParcAuto*.....234

III.1.a) Avantages et inconvénients des données de panel.....234

III.1.a.1) Spécificité des données de panel.....234

III.1.a.2) Un recours croissant aux données de panel.....234

III.1.a.3) Avantages et inconvénients des données de panel.....234

III.1.a.4) L'économétrie des données de panel.....237

*III.1.b) Le panel *ParcAuto*.....237*

*III.1.b.1) Présentation générale des données de *PARCAUTO*.....237*

III.1.b.2) Contenu des données.....238

III.1.c) Méthodologie de traitement des données.....239

III.1.d) Analyse descriptive des déterminants de l'auto-mobilité.....245

III.1.c.1) Les déterminants du permis de conduire.....245

III.1.c.2) Les déterminants de la motorisation des titulaires du permis.....263

III.1.c.3) Les déterminants de l'usage des véhicules chez les utilisateurs principaux d'un véhicule.....	284
III.1.c.4) Synthèse sur les déterminants de l'auto-mobilité.....	298
III.2) Modélisation de l'auto-mobilité.....	308
III.2.a) Cadre général : une modélisation séquentielle par niveaux.....	309
III.2.b) La sélection d'échantillon pour l'inférence statistique.....	309
III.2.b.1) Le sous-échantillon utilisé pour l'inférence.....	309
III.2.b.2) Le problème de sélection endogène.....	312
III.2.b.3) Repondération de l'échantillon.....	314
III.2.c) Les modèles utilisés.....	314
III.2.c.1) Spécification des modèles d'usage.....	314
- Les modèles de permis et de motorisation des détenteurs du permis.....	314
- Le modèle d'utilisation des véhicules chez les utilisateurs principaux.....	316
III.2.c.2) Le choix entre effets fixes et effets aléatoires.....	316
III.2.c.3) Estimation des modèles.....	320
III.2.c.4) Effets marginaux et élasticités.....	320
III.2.d) Résultats de la modélisation.....	322
III.2.d.1) Probabilité d'avoir le permis de conduire.....	323
III.2.d.2) Probabilité de motorisation des titulaires du permis.....	328
III.2.d.4) Espérance du kilométrage annuel parcouru chez les utilisateurs principaux d'un véhicule.....	336
III.2.d.5) Interprétation.....	348
III.2.d.6) Tableau de synthèse des élasticités et consistance des résultats avec la littérature.....	352
III.2.e) Evaluation a posteriori de l'hypothèse séquentielle.....	361
CHAPITRE IV – CONCLUSION.....	364
BIBLIOGRAPHIE.....	395
ANNEXES.....	419
LISTE DES FIGURES.....	464
LISTE DES TABLES.....	467
LISTE DES ENCADRES.....	469
LISTE DES ANNEXES.....	470

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale et l'entrée dans la « société de consommation », l'automobile fait partie du paysage habituel des sociétés contemporaines, dont elle constitue une composante essentielle. Son importance ne se mesure pas seulement à la contribution majeure qu'elle apporte à la mobilité des Français, et notamment à la proportion des déplacements qui sont réalisés en voiture, mais également à la manière dont elle a contribué à façonner les modes de vie dans la société de l'après-guerre et au rôle qu'elle a joué dans la réorganisation des territoires et des bassins de vie. Elle apporte également une contribution décisive à l'activité économique et représente une part importante de la consommation des ménages. Enfin, les aspects symboliques de l'automobile, tant au niveau des valeurs collectives que des imaginaires individuels, ne sont pas à négliger, qu'on en soit partisan ou qu'on la décrie.

Au fil des décennies, l'auto-mobilité n'a cessé de progresser, que ce soit du fait de la proportion croissante d'adultes titulaires du permis de conduire, en raison d'évolutions sociétales – notamment la proportion croissante de femmes exerçant une activité professionnelle, qui a stimulé la demande pour une seconde voiture dans les ménages – ou économiques, la progression du pouvoir d'achat, le développement du marché de seconde main, le contre-choc pétrolier et l'avènement des motorisations *diesel* favorisant tout à la fois l'augmentation du nombre de voitures par ménage, la diffusion de l'équipement automobile à de nouvelles couches de la société qui jusque-là n'avaient pas pu y avoir accès, et le relâchement des contraintes sur l'usage des véhicules. Ainsi, la proportion de déplacements réalisés en voiture a continuellement augmenté, au détriment des modes « alternatifs » - transports en commun, vélo, marche à pied – entraînant du même coup une augmentation de la vitesse et de la distance moyennes des déplacements, du kilométrage annuel parcouru par adulte, et de la circulation automobile totale. En se banalisant, l'automobile est graduellement passée du statut d'un bien supérieur, à celui d'un bien intermédiaire, puis inférieur, ce qui a contribué à l'homogénéisation des comportements de mobilité, du moins au regard des facteurs sociodémographiques, et à la réduction des inégalités sociales de mobilité. Toutefois, les contrastes territoriaux se sont accentués entre les zones densément urbanisées, en particulier les grandes agglomérations, et le reste du territoire, en particulier les communes périurbaines ou appartenant à l'espace à dominante rurale, au sein desquelles la voiture n'a cessé de renforcer son hégémonie.

Cependant, depuis le tournant du millénaire, les signes d'une inflexion notoire des comportements de mobilité se sont multipliés. Ainsi, pour la première fois, le nombre de déplacements quotidiens par personne réalisés en voiture décroît dans un certain nombre de grandes agglomérations françaises. En outre, l'ensemble des modes alternatifs à la voiture connaissent un renouveau, et des services de mobilité – auto-partage, covoiturage – sont proposés comme alternatives à la possession d'un véhicule personnel. Enfin, le kilométrage annuel moyen parcouru par adulte plafonne depuis le début du millénaire, de même que la circulation

automobile totale. Cette dernière évolution n'est pas spécifique à la France mais s'observe dans l'ensemble des pays développés, et elle s'accompagne parfois, comme en France, de tendances récentes à la démotorisation.

C'est l'ensemble de ces évolutions que l'on retrace dans le chapitre I. Constituant sans aucun doute un tournant historique au niveau des comportements de mobilité, elles ne vont pas sans soulever un certain nombre de questions, tant sur leurs causes que sur leur caractère transitoire ou pérenne, et plus globalement sur les évolutions futures des mobilités et de la demande de transport, dans un contexte d'incertitude renforcée. Certains auteurs (*Goodwin, 2010-11*) évoquent en particulier l'hypothèse du « *peak car travel* », à savoir l'éventualité qu'on assiste au prélude à un déclin futur de l'auto-mobilité.

Dans le chapitre II, on s'interroge sur les causes du plafonnement de l'usage de la voiture depuis le tournant du millénaire, et on cherche à poser les bases d'un modèle qui permettrait d'en rendre compte. On commence par relever l'ensemble des explications concurrentes du « *peak car* » présentes dans la littérature, puis on s'efforce de hiérarchiser ces hypothèses. On montre que l'évolution du kilométrage moyen par adulte découle de celle de la proportion d'adultes motorisés et de l'utilisation moyenne des véhicules. Jusqu'aux années 2000, en particulier, la croissance du kilométrage moyen par adulte était indexée sur celle du nombre moyen de voitures par adulte, avant qu'on observe une dé-corrélation entre ces deux indicateurs à partir des années 2000. Celle-ci peut toutefois s'interpréter comme une baisse de l'utilisation des véhicules par les adultes motorisés, provoquée par l'augmentation des prix des carburants et renforcée par la récession de 2008, le kilométrage moyen par voiture demeurant toutefois stationnaire à long terme. On montre qu'à partir d'un modèle sur séries temporelles basé sur le nombre de voitures par adulte et un indicateur de pouvoir d'achat énergétique moyen, il est possible de rendre compte des évolutions récentes du kilométrage annuel moyen par adulte. Il est donc possible d'interpréter le plafonnement récent de l'usage de la voiture comme une réaction de caractère habituel à une augmentation des prix des carburants qui présente un caractère exceptionnel. Selon les termes de cette interprétation, il n'est donc pas nécessaire de recourir à l'hypothèse d'une transition vers un nouveau régime des comportements, ou de changements dans les préférences et les attitudes des consommateurs, pour rendre compte des inflexions récentes du recours à la voiture. Cependant, si on se place dans une perspective plus courte, on peut aussi considérer que le pic des prix des carburants de l'an 2000 a représenté une sorte de choc pour les ménages, renforcé par les répliques de 2008 et 2012, les ayant conduit à mettre en place des stratégies de rationalisation à long terme de l'usage de la voiture, dans un contexte d'incertitude budgétaire générée par la forte volatilité des prix. L'évolution des comportements soulève aussi la question du caractère transitoire ou pérenne des changements observés.

Si on a établi que l'évolution de l'usage moyen des véhicules par les adultes motorisés semblait être principalement déterminée par celle du pouvoir d'achat énergétique, on ne dispose pas, en revanche, d'un modèle permettant de prévoir l'évolution des niveaux d'équipement automobile. Il est donc nécessaire d'en analyser les déterminants, ce à quoi on s'emploie dans la suite du chapitre II. On distingue, dans ces déterminants, les facteurs d'hétérogénéité des niveaux de motorisation de leurs facteurs de variabilité au cours du temps, pour un même individu ou pour un

même ménage. Cependant, il est nécessaire, à nouveau, d'effectuer une analyse emboîtée et d'analyser tout d'abord les déterminants de l'accès au permis de conduire, qui constitue un préalable à la disposition et à l'usage d'un véhicule personnel. Parmi les facteurs explicatifs de l'hétérogénéité des niveaux de permis et de motorisation, la génération d'appartenance et le sexe de la personne jouent un rôle fondamental. Chez les femmes en particulier, l'accès au permis de conduire et à un véhicule personnel n'ont cessé de se renforcer d'une génération à la suivante, rattrapant progressivement ceux qui étaient observés chez les hommes. En raison de la succession des générations, les effets de génération contribuent aussi à expliquer la croissance du taux de motorisation des adultes à long terme.

Aussi bien les déterminants du taux de motorisation que ceux de l'usage des véhicules chez les adultes disposant d'un véhicule personnel peuvent être représentés soit comme des générateurs de besoins, soit au contraire comme des entraves à la motorisation et/ou à l'usage des véhicules. L'inflexion des comportements pendant les années 2000 peut alors être vue comme le résultat d'une modification dans l'équilibre des besoins et des contraintes. La période, en effet, est caractérisée en premier lieu par une augmentation des contraintes financières, d'abord suscitée par l'augmentation des prix des carburants, puis par la récession suivant la crise des « *subprimes* » à partir de 2009. Par ailleurs, la diffusion du permis de conduire et de la voiture particulière s'approche de la saturation, de sorte que les effets du relâchement précédent des entraves à la conduite qui résultait de ce processus tendent à s'épuiser. Mais en outre, le durcissement des contraintes financières semble se traduire par une augmentation paradoxale des besoins de mobilité, en raison d'une progression du taux d'activité des personnes en âge de travailler faisant suite à la crise économique, et d'une accélération de l'étalement urbain suscitée par les fortes tensions sur les prix du logement survenues pendant la décennie. En raison de la dépendance automobile croissante des ménages qui en découle, ces derniers sont susceptibles d'être de plus en plus vulnérables aux augmentations futures de prix des carburants, en particulier les plus modestes et les résidents des espaces d'urbanisation diffuse.

Dans la suite du chapitre, on justifie la nécessité d'une approche emboîtée et individuelle pour décrire et modéliser correctement l'auto-mobilité. Celle-ci, en effet, résulte d'un processus de décision séquentiel dans lequel les individus commencent par passer le permis de conduire, puis, s'ils disposent du permis de conduire, décideront de l'opportunité et de la faisabilité de disposer d'un véhicule personnel, puis, s'ils disposent d'un véhicule personnel, de leur niveau d'usage du véhicule dont ils disposent. Il est également nécessaire de segmenter cette approche selon le genre en raison de l'importance généralement constatée des écarts entre hommes et femmes dans l'accès au permis de conduire et à un véhicule personnel, en particulier dans les générations les plus anciennes. Par ailleurs, on justifie l'intérêt d'une approche longitudinale, dans laquelle on suit l'évolution des comportements individuels au cours du temps, ce qui permet de faire la part des choses entre ces évolutions, dites longitudinales, et les facteurs d'hétérogénéité permanente des comportements entre individus. Bien que les modèles usuels de prévision de la demande assimilent généralement ces deux dimensions de variabilité, un rapide aperçu de la littérature permet de se rendre compte qu'estimations transversales et longitudinales, ou facteurs d'hétérogénéité et de variabilité ne coïncident pas en général. Un certain nombre de conditions économétriques sont en effet requises pour pouvoir les considérer comme équivalentes, qui sont

en général violées dans la pratique, en raison d'un certain nombre de processus économiques sous-jacents, dont certains sont rappelés. Plus fondamentalement, on peut supposer que les facteurs qui déterminent les comportements « initiaux » ne sont pas analogues à ceux qui déterminent leur évolution au cours du temps. L'approche longitudinale permet également de prendre en compte les effets de génération, en les distinguant des effets d'âge. Pour pouvoir la mettre en œuvre, il est souhaitable de pouvoir s'appuyer sur des données structurées en panel, ou à défaut, en pseudo-panel. On dispose ici de telles données avec le fichier *ParcAuto* sur le parc automobile et son usage, qui permet également de mettre en œuvre une approche emboîtée.

C'est cette approche que l'on mettra en œuvre dans le chapitre III, dans lequel, on analyse en premier lieu les déterminants de chaque niveau de l'auto-mobilité – permis, motorisation des titulaires du permis, usage des véhicules par les adultes disposant d'un véhicule personnel (qui sont ici représentés par les utilisateurs principaux d'un véhicule). Pour chaque niveau, l'analyse est segmentée selon le sexe, et s'appuie principalement sur une analyse de type âge-cohorte, complétée par d'autres variables, notamment économiques de revenus et de prix des carburants. Dans la dernière partie, on estime un modèle séquentiel d'usage de la voiture au niveau individuel en ayant recours à l'économétrie des données de panel, dans lequel le kilométrage moyen par adulte découle de la probabilité pour un adulte d'avoir le permis, de sa probabilité d'être utilisateur principal d'un véhicule, sachant qu'il a le permis, et de l'usage moyen des véhicules chez les individus utilisateurs principaux d'un véhicule, qui sont chacun modélisés tour à tour. Les élasticités aux revenus et aux prix estimées sont comparées avec les résultats issus de la littérature. Pour finir, on évalue la crédibilité de l'hypothèse d'indépendance des niveaux de décision justifiant une modélisation séquentielle, avant de conclure.

CHAPITRE I : UNE INFLEXION DANS LES COMPORTEMENTS DE MOBILITE

I.1) Introduction générale : la civilisation de l'automobile et ses différentes dimensions

Dans le premier chapitre, nous retraçons l'essor de l'automobile depuis la seconde guerre mondiale, en montrant comment elle a contribué à transformer profondément les comportements de mobilité. Nous pointons ensuite les évolutions récentes de la mobilité depuis le tournant du millénaire, qui manifestent une inflexion notoire dans cette trajectoire de croissance. En effet, pour la première fois depuis l'avènement de l'automobile, la mobilité en voiture particulière a cessé de croître, et semble plafonner depuis maintenant une quinzaine d'années. Cette inflexion, qui présente un caractère historique, soulève un certain nombre de questions, tant sur ses causes que sur les évolutions futures de l'usage de la voiture et de la mobilité, qui seront abordées dans le chapitre II.

I.1.a) Les transports à l'âge industriel : de l'essor des transports motorisés à la civilisation de l'automobile

A partir de la fin du dix-neuvième siècle, l'émergence de nouveaux moyens de transport motorisés (train et bateau à vapeur), rendue possible par le développement de nouvelles techniques permettant de convertir l'énergie primaire en mouvement (charbon, pétrole...), a profondément modifié les manières de se déplacer, ainsi que la localisation des activités et l'organisation des territoires. En contribuant à limiter la « résistance de l'espace au mouvement », l'accroissement des vitesses de déplacements a transformé les modes de vie, desserrant la contrainte spatiale de proximité entre le domicile et les lieux d'activité qui avait prévalu jusqu'au commencement de l'ère industrielle. En effet, même si des moyens de transport relativement rapides tels que le cheval ont toujours existé, leur usage était réservé aux classes supérieures, de sorte que pour la majorité de la population, l'extension des bassins de vie était dans une large mesure circonscrite à l'espace que l'on pouvait parcourir à pied en l'espace d'une journée.

Le réseau ferroviaire se développera en premier lieu pour devenir le mode de transport dominant à la fin du dix-neuvième siècle, tant pour les voyageurs que pour les marchandises. Cependant, les voyageurs demeuraient tributaires des horaires et de la desserte ferroviaire. La seconde révolution de la mobilité apportée par la bicyclette et l'automobile sera celle de l'autonomie, permettant aux individus de s'émanciper des contraintes d'horaire et de desserte, et procurant de ce fait un sentiment de liberté à leurs conducteurs, en raison de la flexibilité incomparable offerte par ces modes (Roux, 2012). Ces deux moyens de transport deviendront ainsi les modes dominants pour effectuer les navettes domicile-travail et parcourir de longues distances, contribuant de ce fait à la dynamique de l'étalement urbain.

Avec l'invention du moteur à explosion et celle de l'automobile en France et en Italie dans la seconde moitié du dix-neuvième siècle, l'industrie automobile se développera d'abord aux Etats-Unis avant la seconde guerre mondiale, où des industriels tels que *Henry Ford* moderniseront les méthodes de production afin de construire des automobiles en masse à un prix accessible au plus grand nombre, par la standardisation et la spécialisation des tâches, permettant des économies d'échelle. En France, en dépit des efforts des constructeurs, les conditions économiques de l'entre-deux-guerres ne permettront pas tout d'abord le décollage du marché automobile. Ce n'est qu'à l'issue de la seconde guerre mondiale, avec l'aide du plan Marshall, la modernisation des infrastructures routières grâce à un effort d'investissement sans précédent de la part de l'Etat, l'essor du crédit, et l'entrée dans la société de consommation, que le marché automobile prendra

véritablement son essor. Autrefois réservée à une élite, l'automobile va se démocratiser, passant graduellement du statut d'un bien supérieur à celui d'un bien intermédiaire puis d'un bien de première nécessité. Le développement de la société de consommation s'appuie en effet dans une large mesure, à l'époque, sur la croissance de l'équipement des ménages en biens durables, non seulement pour l'automobile mais également pour les gros équipements ménagers tels que le réfrigérateur, le téléviseur et le lave-linge, dont les taux de pénétration progressent rapidement. Dans le cas de l'automobile, ce processus prendra toutefois des décennies, et sera soutenu par l'élévation générale du pouvoir d'achat pendant la période des Trente Glorieuses, caractérisée par une prospérité économique durable et une réduction tendancielle des inégalités. Au cours de cette période, le taux d'équipement des ménages en voitures particulières ne cessera de progresser, contribuant à transformer en profondeur les pratiques de mobilité. La voiture deviendra ainsi toujours davantage le moyen de transport privilégié pour réaliser l'ensemble des déplacements de la vie quotidienne mais aussi de longs déplacements pour les vacances, plus occasionnels, accompagnant l'essor du tourisme et des loisirs. Pendant toute cette période, la voiture va progressivement se substituer aux autres moyens de transport qui seront ainsi marginalisés. La pratique du vélo, par exemple, fréquente parmi les ouvriers pour se rendre à leur lieu de travail avant et pendant la seconde guerre mondiale, va décliner. Les deux-roues motorisés furent également remplacés par l'automobile dans les années 1960-70. Enfin, les tramways construits dans les grandes villes françaises seront démantelés (Roux, 2012).

Outre l'empire hégémonique qu'elle exercera de plus en plus sur la mobilité, la voiture va contribuer à transformer en profondeur les modes de vie et les formes d'organisation du territoire, en desserrant la contrainte spatiale aussi bien pour la localisation de l'habitat que des activités. Si elle n'abolit pas la centralité, en revanche elle sera l'un des principaux moteurs du desserrement spatial des agglomérations, qui prend à partir des années 1970 une ampleur sans précédent, en s'étendant bien au-delà des territoires des anciennes « banlieues », qu'elles soient populaires ou aisées, pour repousser toujours plus loin les limites des agglomérations urbaines. Par ailleurs, l'habitat déborde des limites des agglomérations pour donner naissance à une urbanisation diffuse, de nombreux actifs travaillant dans les agglomérations commençant alors à habiter en dehors des zones urbaines, un processus qui sera qualifié de « périurbanisation ». Ce processus ne sera pas uniquement nourri par l'augmentation des vitesses de déplacement résultant de la diffusion de l'automobile : il résulte également des aspirations des ménages à un meilleur confort et à un habitat plus spacieux et proche de la nature, conduisant à modifier la physionomie des anciennes campagnes délaissées lors de la période de l'exode rural. Celles-ci seront désormais de plus en plus habitées par des personnes travaillant en ville, donnant naissance à une nouvelle catégorie d'habitants de l'espace rural, celle des « rurbains » (Bessy-Pietri et al., 2000), distincte des paysans qui habitaient autrefois les campagnes. Cette dynamique est entretenue par les tensions sur les prix immobiliers dans les zones urbaines denses qui poussent les ménages à élargir leur univers de choix résidentiel en recherchant des opportunités foncières en-dehors du cœur d'agglomération, mais également par la forte croissance démographique de l'après-guerre (le « baby-boom »), ce type de mode de vie étant notamment privilégié par des personnes engagées dans une vie de famille avec des enfants en bas âge.

Ce ne sont pas seulement les lieux de résidence qui vont se desserrer mais d'une manière plus générale l'ensemble des lieux d'activité et d'emploi, l'ensemble des points du territoire bénéficiant d'une accessibilité accrue grâce au développement des infrastructures routières et des modes de transport routiers (voiture, car, camion...), tant pour le transport de voyageurs que de marchandises. L'essor de la voiture et de la route transforme, en particulier, les schémas d'implantation des surfaces commerciales et des zones d'activité : ce sera le développement de la

grande distribution en périphérie des villes, ou encore des « multiplexes », concurrençant respectivement les commerces et cinémas de centre-ville.

A partir de la fin des années 1970, alors qu'une grande partie des ménages sont déjà équipés d'un véhicule particulier, la croissance de l'automobile va se poursuivre avec le multi-équipement. Initialement un bien d'équipement durable au niveau du ménage, la voiture va devenir de plus en plus un bien individuel. Cette évolution est favorisée par des transformations sociétales : à partir des années 1960, l'essor du secteur tertiaire combiné avec l'amorce de déclin du secteur industriel, va entraîner la féminisation croissante de la main d'oeuvre. Les femmes entrent alors massivement sur le marché du travail. Pour répondre à l'augmentation de leurs besoins de mobilité, elles vont être de plus en plus nombreuses à acquérir le permis de conduire, sésame vers la disposition d'un véhicule personnel qui leur permettra de se mouvoir de manière autonome. Le véhicule unique dans le ménage, en effet, ne permet pas de satisfaire pleinement les besoins de mobilité dans les couples biactifs, les déplacements vers le travail étant les plus longs et par conséquent les plus dépendants de l'automobile, et les lieux de travail des conjoints coïncidant rarement. L'apport d'un second revenu dans le ménage facilitera l'essor du multi-équipement. Ces évolutions, toutefois, ne seront pas immédiates mais s'étaleront sur des décennies, contribuant à la progression continue des niveaux d'équipement des ménages. En effet, les femmes nées avant la guerre n'avaient le plus souvent pas acquis le permis de conduire, et il était rare qu'elles le passent « sur le tard ». De ce fait, l'accès au permis de conduire dépend fortement de la génération, les différences entre générations dans l'accès au permis de conduire présentant un caractère durable. Il en va de même pour l'accès au second véhicule, car le taux d'activité des femmes, de même que le caractère plus ou moins périphérique des lieux de résidence, est également corrélé à la génération, reflétant des évolutions conjointes des mentalités et des modes de vie. Or, les différences persistantes entre générations ne s'effacent qu'avec le temps, à mesure que les générations plus anciennes sont remplacées par les nouvelles générations ayant connu le changement social. Ces questions seront abordées plus en détail dans le chapitre II.

L'automobile apporte également une contribution très importante à l'activité économique. Son importance ne se mesure pas au seul secteur de la construction mais à l'ensemble des activités qu'elle implique, du génie civil et des infrastructures routières aux assurances en passant par l'activité de crédit, les industries pétrolières et les sociétés d'autoroutes. Les dépenses automobiles représentent également une part substantielle du budget des ménages. Les gouvernements successifs, confrontés aux crises à répétition du marché automobile et conscients de sa dimension stratégique dans l'économie du pays, se sont toujours efforcés de relancer le marché par des subventions, des « *balladettes* » et autres « *juppettes* » dans les années 1990 jusqu'au bonus-malus en 2007-08.

Enfin, elle présente une forte dimension symbolique. D'abord symbole de prospérité économique, d'indépendance et de liberté, puis de virilité, de puissance et d'agressivité, son image évolue cependant sous l'impact de la critique politique et sociétale, de la montée en puissance de la conscience écologique qui en dénonce les nuisances environnementales, et de la place de l'automobile dans la société qui, d'un objet de luxe au départ, tend à devenir au fil du temps une norme sociale et un objet de première nécessité, dont la privation est synonyme d'exclusion, puis un vecteur de risque, les ménages devenant de plus en plus dépendants de l'automobile dans un contexte de tensions croissantes sur les prix de l'énergie.

Compte tenu de l'ensemble de ces dimensions tant matérielles que sociétales et symboliques, on a pu parler, non sans raison, de « *civilisation de l'automobile* » pour décrire sa place centrale au

cœur des sociétés contemporaines de l'après-guerre, au sein desquelles elle constituait le principal symbole de prospérité, de réussite sociale et de liberté, une place qui selon certaines interprétations lui aurait été ravie par les « *smartphones* », objet iconique de la « génération Y », née dans les années 1980. Ce sont ces différentes facettes de l'automobile que nous décrivons à présent.

1.1.b) La place centrale de l'automobile dans les sociétés contemporaines

1.1.b.1) L'automobile, une composante fondamentale des modes de vie, qu'elle contribue tout à la fois à refléter et à transformer

La voiture, après s'être d'abord diffusée en Amérique du Nord où le développement d'une production de masse, associée à l'émergence de la société de consommation, fut plus précoce qu'en Europe, ne s'est démocratisée en France qu'après la seconde guerre mondiale. Sa diffusion, d'abord restreinte, s'est progressivement élargie à des couches sociales toujours plus étendues, un processus favorisé par la baisse des coûts de production puis d'acquisition des véhicules, grâce au développement du marché de seconde main, et à l'élévation générale du pouvoir d'achat pendant la période des Trente Glorieuses, qui a continué de progresser mais à un rythme ralenti et de manière plus inégale par la suite. En se diffusant, l'automobile a profondément transformé les manières de se déplacer, mais aussi d'habiter, de travailler, de se divertir. D'une manière générale, elle a réduit la « *résistance de l'espace à la mobilité* ».

En effet, sur longue période, la vitesse de déplacement semble avoir toujours déterminé la dimension des bassins de vie, le temps consacré en moyenne par les individus à se déplacer présentant certaines caractéristiques d'un invariant anthropologique, ainsi que l'ont remarqué par exemple *Zahavi (1974)* puis *Marchetti (1994)*. La diffusion de l'automobile, en augmentant la vitesse moyenne de déplacement, a entraîné une extension des distances de déplacements, des bassins de vie et un changement des dimensions de l'urbanisation qui, au fil du temps, est devenue de plus en plus diffuse. La voiture, en augmentant l'accessibilité des territoires susceptibles d'être atteints depuis le lieu de résidence, a constitué un vecteur d'opportunités croissantes, notamment en termes de choix résidentiels. Elle a d'abord permis le développement des grands ensembles d'habitat collectif en périphérie des villes, puis de l'habitat périurbain à partir des années 1970. Les ménages, en accédant à des logements de plus grande taille et disposant d'un confort plus élevé, ont pu accéder à une meilleure qualité de vie. Les activités commerciales et l'emploi ont également suivi cette tendance au desserrement spatial, avec l'implantation, par exemple, de la grande distribution puis des multiplexes en périphérie des villes.

La voiture a aussi contribué, dans le champ des mobilités, au mouvement général d'individualisation des sociétés contemporaines. En effet, dans une première phase, la diffusion de l'automobile était réduite à un seul véhicule par ménage et constituait donc un équipement collectif. Mais avec le temps, la proportion de ménages équipés de plusieurs véhicules n'a cessé de s'accroître. De ce fait, l'automobile est devenue un bien de plus en plus individuel (*Papon et Hivert, 2008*), permettant l'accès des personnes à une mobilité de plus en plus autonome.

Il s'agit toutefois d'une relation d'interdépendance, ou de causalité circulaire : d'un côté en effet, en permettant l'augmentation des vitesses de déplacements, l'automobile a favorisé l'extension des bassins de vie ; mais d'autre part, l'extension des bassins de vie a rendu les ménages de plus en plus dépendants à l'égard de l'automobile (*Newman et Kenworthy, 1989 ; Dupuy, 1999*) dans les

espaces périurbains et les communes rurales où elle est devenue une composante centrale des modes de vie (*Dubois-Taine et Chalas, 1997 ; Cailly, 2011*). La notion de dépendance à l'égard de l'automobile est souvent pointée du doigt par les chercheurs et les analystes de la mobilité ainsi que par les pouvoirs publics comme un obstacle aux changements de comportements. De plus, en raison de l'augmentation très sensible des prix des carburants depuis la fin des années 1990, une nouvelle problématique d'ordre social tend à émerger : celle de la vulnérabilité des ménages et des territoires en cas d'augmentations des prix de l'énergie. Les ménages les plus dépendants de l'automobile apparaissent alors aussi comme les plus vulnérables. La crise énergétique tend à déplacer les enjeux d'équité en matière de transport : si jusque là, la principale question sociale en matière de mobilité était le risque d'exclusion associé à un accès restreint au permis de conduire et à l'automobile, touchant principalement les plus modestes, la problématique de la vulnérabilité aux prix de l'énergie est davantage focalisée sur l'usage des véhicules, et atteint plutôt les classes moyennes, fréquemment localisées dans les territoires périurbains. La problématique de la dépendance automobile est celle d'une captivité, source de fragilité des individus et des sociétés. Mais, ainsi que l'a montré *Collet (2007)* dans la ligne de *Becker et Murphy (1988)* et de *Becker et al. (1994)* pour d'autres biens de consommation, la notion de dépendance à l'égard de l'automobile peut également recouvrir des phénomènes d'addiction, dans lesquels l'usage de l'automobile augmente à l'issue d'un apprentissage qui en accroît l'utilité perçue. De ce fait, la pratique de l'automobile tendrait à augmenter sous l'effet d'une dynamique auto-entretenu, un usage plus intensif de la voiture générant davantage de dépendance à l'automobile et donc davantage d'usage de la voiture.

La diffusion croissante de l'automobile est aussi la conséquence d'évolutions sociétales, en particulier de la participation croissante des femmes à l'activité professionnelle, accompagnant le développement du secteur tertiaire. En 1965, la loi interdisant aux femmes de travailler sans l'accord de leur mari est abrogée, favorisant la hausse de leur taux d'activité (*Roux, 2012*). Depuis, le taux d'activité des femmes est en constante augmentation, progressant ainsi de 53,3 % en 1975 à 66,1 % en 2009. Par ailleurs, l'évolution des mentalités tend à modifier les rôles traditionnellement dévolus aux hommes et aux femmes, dans le sens de leur indifférenciation. En effet, les femmes n'interrompent plus nécessairement de façon prolongée leur parcours professionnel suite à la naissance d'un enfant, ce qui constituait fréquemment la cause de difficultés ultérieures de retour à l'emploi. De plus, avec la robotisation et les délocalisations industrielles à partir des années 1970, les secteurs d'activité générant des besoins de personnel se sont modifiés, le besoin de main d'œuvre agricole et industrielle déclinant tandis que les recrutements dans le secteur tertiaire se sont faits plus importants, bénéficiant principalement aux femmes. La nécessité de concilier responsabilités familiales et professionnelles conduit les femmes à privilégier le recours à la voiture, mode jugé plus flexible, pour maîtriser le temps quotidien consacré aux déplacements. Les femmes ont ainsi largement contribué à la croissance de l'usage de la voiture (*Gallez et al., 1997*).

Enfin, le développement de l'automobile est également favorisé par l'émergence du temps libre et de loisirs, en particulier avec l'augmentation du nombre de semaines de congés payés puis la réduction du temps de travail à partir de 2002. Avec l'augmentation du niveau de vie, les déplacements de loisirs se sont massifiés, bien que les mobilités de loisirs soient caractérisées par une forte inégalité qui tend à perdurer. Ainsi, la mobilité à longue distance n'a cessé de croître depuis les années 1980, une augmentation résultant pour l'essentiel de la progression du pouvoir d'achat, de la motorisation des ménages et de l'évolution des modes de vie (*Calzada et al., 1997 ; Grimal, 2010*).

1.1.b.2) Une contribution décisive à l'activité économique et à la consommation des ménages

L'automobile et son usage représentent un enjeu considérable sur le plan économique, tant en termes de richesses produites que d'emplois, mobilisant un grand nombre de filières, du génie civil aux assurances en passant par les industries pneumatiques et pétrolières, les activités de crédit et les services de maintenance et de réparation des véhicules. Elle a contribué de manière très significative au développement économique de l'après-guerre. Son importance économique peut être mesurée de différentes manières :

- Le PIB généré par l'ensemble des secteurs dont l'activité dépend à un degré plus ou moins important de l'auto-mobilité. L'hypothèse de corrélation entre le trafic automobile et la croissance économique qui est souvent posée dans les modèles de trafic recouvre implicitement une direction de causalité unique, dans laquelle le trafic automobile est supposé croître en ligne avec l'activité économique. Toutefois, certains auteurs soulignent la possibilité d'une relation de causalité inverse, dans laquelle le trafic apporte une forte contribution à l'activité économique, de sorte que toute variation des trafics a des incidences significatives sur la croissance économique (*Pozdena, 2009 ; Mc Mullen et Eckstein, 2011*). Ils suggèrent ainsi que le trafic automobile pourrait constituer un « indicateur avancé » de la croissance économique, permettant d'en anticiper les fluctuations. La contribution du trafic à l'activité économique est parfois désignée comme « l'intensité transport » du PIB, qui aurait tendance à diminuer dans les économies avancées ;
- La part des transports, et plus particulièrement des consommations automobiles dans le budget des ménages, mesurée par le coefficient budgétaire transport. Si le poids des dépenses automobiles dans le budget des ménages demeure globalement stable, c'est désormais au prix d'une réduction des volumes consommés, compte tenu du renchérissement des carburants ainsi que des dépenses d'entretien/réparation ;

A partir des années 1970, l'automobile a commencé à apparaître non plus seulement comme une force sur le plan économique mais également comme une faiblesse, les chocs pétroliers ayant mis en lumière la dépendance énergétique de la France à l'égard du pétrole, dans un contexte où on commence à pointer du doigt les limites potentielles à la disponibilité et à la consommation des énergies fossiles, avec la perspective de plus en plus rapprochée du « *peak oil* ». Cependant, ces craintes furent rapidement dissipées à la suite du contre-choc pétrolier des années 1980, qui, en induisant une baisse des prix des carburants, a favorisé la relance tant des niveaux d'équipement que d'usage de l'automobile (*Gallez, 1994*), d'autant que cette période était encore caractérisée par une forte croissance économique. De plus, l'essor des motorisations *diesel*, soutenues par une fiscalité favorable, a réduit les coûts d'usage de l'automobile, en dépit de prix de vente des véhicules *diesel* généralement plus élevés, entraînant une *dieselisation* du parc (*Hivert, 1996a,b*). D'une manière générale, l'attrait du public pour le *diesel* tend à sortir renforcé de chaque période d'augmentation des prix des carburants. En particulier, la forte augmentation des prix des années 2000 s'est traduite par une nette accélération de la transition des ménages vers les motorisations *diesel*. Cependant, des signes récents d'inversion de cette tendance semblent apparaître, dont les causes sont sans doute multiples. La forte baisse tendancielle des prix du pétrole depuis le pic de 2012 y a sans doute contribué dans une large mesure. Mais d'autre part, le différentiel de prix entre l'essence et le gazole tend à se réduire, la fiscalité du gazole devenant moins favorable que par le passé. En outre, la technique du *downsizing* appliquée aux véhicules essence, permettant de

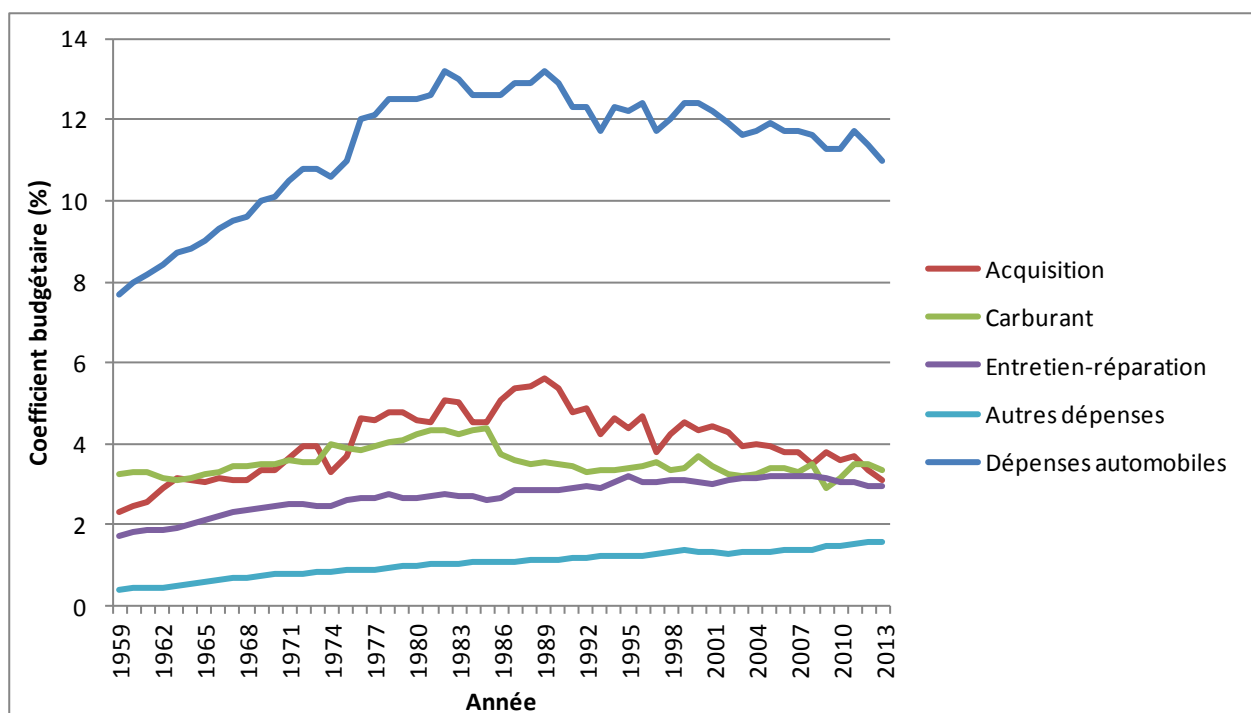
bénéficier de meilleures performances tout en réduisant la puissance fiscale et la consommation de carburant, a sans doute contribué à relancer les ventes de véhicules essence. Enfin, les mesures envisagées de restriction de la circulation des véhicules *diesel* dans certaines villes afin de lutter contre la pollution aux particules fines, sont susceptibles de décourager l'acquisition de véhicules *diesel*.

Avec l'approche de la saturation des taux d'équipement, et une durée de vie plus importante des véhicules résultant de progrès techniques, le marché automobile tend à perdre de sa vitalité. Pour compenser cette perte de dynamisme, les pouvoirs publics prennent périodiquement des mesures de relance subventionnant l'acquisition de véhicules neufs, telles que l'aide au pot catalytique en 1992, puis les « balladettes » et les « juppettes » en 1994-95. Cette aide au marché est renouvelée en 2007 avec le « bonus-malus », la prime à la casse et le super-bonus. Cependant, ces aides gouvernementales ne permettent pas d'obtenir des effets durables. Elles suscitent généralement des effets d'aubaine plutôt qu'une demande induite, les ménages anticipant leurs décisions d'achat, ce qui a pour corollaire une forte chute des ventes de véhicules neufs à l'arrêt des dispositifs. Le ralentissement du marché automobile s'explique en partie, en effet, par la convergence de la diffusion de l'automobile vers la saturation. Avec l'augmentation des taux d'équipement, le potentiel de croissance du parc de véhicules particuliers à disposition des ménages diminue, de sorte que le marché devient de plus en plus un marché de renouvellement. Or, le remplacement des véhicules étant lui-même de plus en plus tardif, grâce aux progrès techniques qui en améliorent la robustesse, la durée de vie et l'ancienneté des véhicules ont tendance à augmenter (Kolli, 2012).

L'importance économique de l'automobile peut également être saisie au travers de son coefficient budgétaire, à savoir la part des dépenses automobiles dans le budget des ménages. Celui-ci peut être suivi par le moyen de plusieurs sources, en particulier les enquêtes Budget des Familles réalisées périodiquement par l'INSEE, ainsi que, sur une base plus régulière, les séries de consommation ou de consommation effective¹ des ménages de la Comptabilité Nationale. Les séries de la Comptabilité Nationale montrent au fil du temps un renforcement des dépenses de services au détriment des biens matériels. En particulier, le poids des dépenses alimentaires et vestimentaires recule tandis que la part des dépenses liées au logement ou encore aux communications et aux loisirs, augmente. Le poids des produits alimentaires et des boissons non-alcoolisées dans la consommation finale effective des ménages hors entrepreneurs individuels a ainsi chuté de 22,0 % en 1959 à seulement 10,0 % en 2014. Les dépenses vestimentaires ne représentaient plus que 3,2 % de la consommation effective des ménages en 2014 contre 10,8 % en 1963. A l'inverse, les dépenses liées au logement – logement, eau, gaz, électricité – augmentent continuellement pour atteindre 20,1 % du budget des ménages en 2014 contre seulement 9,4 % en 1959. De même, le poids des dépenses de santé progresse de 5,2 % en 1959 à 13,0 % en 2014.

L'évolution des coefficients budgétaires traduit à la fois un effet-volume et un effet-prix. Grâce aux économies d'échelle et au progrès technique, les prix des produits industriels diminuent ou augmentent moins vite que l'inflation générale, tandis que les prix des services, et en particulier du logement, augmentent à l'inverse plus rapidement que l'inflation générale.

¹ La « consommation effective » est constituée non seulement de leurs dépenses directes, mais également des dépenses indirectes des administrations publiques et des ISBLSM (*Instituts sans But Lucratif au Service des Ménages*) en faveur des ménages. Les dépenses de consommation directe des ménages ne représentent que les trois quarts de la consommation effective (75,1 % en 2014), le quart restant étant constitué par les dépenses d'institutions en faveur des ménages.



Graphique 1 : Part des dépenses automobiles et de leurs différentes composantes dans le budget des ménages, de 1960 à nos jours

Source : INSEE, Comptes Nationaux, base 2010

D'après la *Comptabilité Nationale*, on peut mettre en évidence deux phases bien distinctes dans l'évolution du coefficient budgétaire associé aux transports. Entre 1960 et le début des années 1980, il augmente fortement, passant de 11,3 % à 17 % de la consommation directe des ménages. Le renforcement du poids relatif des transports au sein du budget des ménages au cours de cette période s'explique à la fois par une croissance des volumes consommés plus rapide que celle de la consommation totale - en raison de la forte progression du taux d'équipement automobile qui progresse de 30 % de ménages disposant d'une voiture particulière en 1960 à 60 % en 1973 – et par une augmentation des prix plus rapide que l'inflation générale (*Sanchez-Gonzalez, 2014*). Depuis lors, il demeure remarquablement stable, représentant 17,6 % des dépenses des ménages en 2007. Pour la période récente, les données de la Comptabilité Nationale indiquent cependant une légère baisse du poids des dépenses de transport au sein de la consommation effective des ménages. D'après le cinquante-et-unième rapport à la *Commission des Comptes Transport de la Nation (CGDD, 2014)*, les dépenses des ménages en transports ont reculé de – 1,7 % en rythme annuel entre 2008 et 2013. Il s'agit là sans doute en partie d'un effet de la récession faisant suite à la crise des « *subprimes* » en 2008. En effet, les évolutions récentes du coefficient budgétaire des transports sont relativement faibles² et ne reflètent pas uniquement des tendances de long terme, mais aussi des fluctuations des dépenses d'achat automobiles ainsi que des dépenses en carburants. Ainsi, l'année 2014 est caractérisée par une forte baisse des prix des carburants, et les ventes de véhicules neufs se sont effondrées après 2011, suite à la fin du dispositif de bonus-malus qui a incité les ménages à anticiper leurs décisions d'achats de véhicules. Tout se passe donc

² Si on considère la série des Enquêtes Budget des Familles de 2001, 2006 et 2011, on obtient pour les coefficients budgétaires des dépenses allouées aux transports respectivement 16,1 %, 15,7 % et 17,4 %. Là non plus, les évolutions ne sont pas considérables et la tendance semble être stationnaire, l'enquête de 2011 correspondant à un point haut dans les prix des carburants ainsi qu'à une année de forte activité de ventes de véhicules neufs stimulée par la perspective de l'achèvement du dispositif de bonus-malus.

comme si, à long terme, les ménages s'efforçaient de maintenir inchangé leur coefficient budgétaire alloué aux transports.

Ce sont surtout les dépenses automobiles qui ont contribué à l'augmentation du coefficient budgétaire des transports entre les années 1960 et les années 1980. Le coefficient budgétaire des transports en commun, en effet, a peu évolué en dépit de la hausse des tarifs plus rapide que l'inflation générale, compte tenu d'une baisse de leur fréquentation, conséquence de la diffusion croissante de la voiture. Ainsi, la part de la dépense automobile dans la consommation des ménages a progressé de 8,0 % à 13,2 % entre 1960 et 1982. Après être demeurée stable entre 1982 et 1989, elle recule depuis lors pour atteindre 11,0 % en 2013, une baisse qui semble s'accélérer depuis l'an 2000 où cette part atteignait 12,4 %. De plus, depuis 2008, les dépenses de consommation automobile des ménages sont affectées par la crise économique et baissent en volume, de – 2,1 % annuels entre 2007 et 2013, alors que leur prix augmente deux fois et demi plus vite que l'inflation générale, de + 2,5 % annuels contre + 1,0 %³ (Sanchez-Gonzalez, 2014). Ils semblent donc s'être efforcés de compenser l'augmentation des prix par une réduction des volumes consommés, ce qui pourrait s'expliquer par la stagnation du pouvoir d'achat du revenu disponible brut depuis 2008. Ainsi, tous postes de dépenses confondus, les dépenses de consommation finale des ménages, après avoir augmenté de 2,6 % en moyenne entre 2000 et 2008, n'ont progressé que de 0,5 % entre 2008 et 2015, une évolution exactement en ligne avec celle du pouvoir d'achat du revenu disponible brut au cours des mêmes périodes.

On peut à nouveau distinguer, au sein des dépenses automobiles, les dépenses d'acquisition et les dépenses d'utilisation des véhicules. Comme pour l'ensemble des postes budgétaires, c'est surtout le poids de la composante « *servicielle* » des dépenses automobiles qui se renforce par rapport aux dépenses « *matérielles* ».

Avec la proportion croissante de ménages motorisés, le coefficient budgétaire des dépenses d'acquisition des véhicules a progressé jusqu'en 1989 où il a atteint 5,6 % du budget des ménages. Depuis lors, il décroît régulièrement pour chuter à 3,3 % en 2004 puis 2,6 % en 2014. Rapportée non plus au budget total des ménages mais au seul budget automobile, les dépenses d'acquisition de véhicules dans le budget automobile reculent de 42,7 % en 1989, à 36,3 % en 2001 puis 28,3 % en 2013. La baisse du poids relatif des budgets alloués à l'acquisition de véhicules s'explique notamment par la modération des prix d'acquisition des véhicules, le développement du marché de l'occasion contribuant tout à la fois à faire baisser les prix moyens d'acquisition des véhicules, compte tenu de prix nettement plus faibles pour les véhicules d'occasion en comparaison des véhicules neufs, et à exercer une pression modératrice sur les prix des véhicules neufs. Ainsi, de Janvier 2002 à Janvier 2007, les prix des achats de véhicules neufs n'ont progressé que de 1,3 % annuels en moyenne, et seulement de 0,2 % par an de Janvier 1998 à Janvier 2002, d'après l'indice des prix des automobiles neuves (Juillard, 2007). Toutefois, les achats automobiles fluctuent en fonction des périodes de crise ou d'embellie du marché automobile, en partie liées à des effets d'aubaine qui conduisent les ménages à anticiper leurs achats en cas d'aides gouvernementales.

³ Cependant, les prix des consommations automobiles reflètent l'évolution de leurs différentes composantes. Celles du prix du pétrole, qui exercent une influence directe sur les prix des carburants, sont caractérisées par une forte volatilité consistant en des fluctuations de court terme et de moyen terme. Après la forte baisse consécutive au contre-choc pétrolier de 1986 à 1992, ils connaissent à nouveau une période de hausse tendancielle, nettement plus rapide que l'inflation générale depuis 2004 (Juillard, 2007), qui se poursuit maintenant depuis plus de vingt ans. Celle-ci s'accompagne d'une forte volatilité, marquée par plusieurs records historiques de prix en l'an 2000, puis en l'an 2008 et mi 2012. Depuis lors, les prix semblent plutôt être sur une tendance baissière, avec une forte baisse au second semestre 2014. Les prix des services sont caractérisés par une progression plus régulière, plus rapide que l'inflation générale, pesant sur le budget automobile des ménages.

Ainsi, les immatriculations neuves ont été stimulées par les primes gouvernementales, puis ont chuté en 1997, avant de connaître une nouvelle embellie jusqu'en 2002 (*Juillard, 2007*). Les années suivant 2011 sont caractérisées par un très net repli des dépenses d'achats automobiles en volumes, avec en particulier un repli de – 10,3 % en 2012 et – 7,9 % en 2013. La chute des consommations, de – 3,1 % par an entre 2007 et 2013, est assez importante en dépit d'une augmentation modérée des prix, de l'ordre de 1,0 % par an. Ce repli peut sans doute s'expliquer par la fin du dispositif de bonus-malus en 2011 qui a incité les ménages à anticiper leurs achats de véhicules avant 2011, amplifié par les effets de la crise économique sur le pouvoir d'achat des ménages depuis 2008.

Au contraire, le poids des dépenses d'utilisation des véhicules a fortement progressé au cours du temps, à la fois du fait de la croissance de l'équipement des ménages, et de la très forte hausse des prix par rapport à l'inflation générale. Cependant, l'évolution diffère entre les dépenses d'entretien-réparation, et plus généralement l'ensemble des services liés à l'utilisation des véhicules, et les dépenses matérielles, en particulier les dépenses en carburants. L'examen des coefficients budgétaires suggère en outre des logiques comportementales différenciées entre ces différents postes de dépenses.

La relative stabilité du poids des dépenses matérielles est illustrée par les budgets consacrés aux pièces détachées ainsi qu'aux carburants. D'après les enquêtes *Budget des Familles*, on observe une réduction des volumes de pièces détachées consommées entre les périodes 1990-97 et 1998-2006 (*Juillard, 2007*), permise notamment par la diminution des accidents, résultant des progrès en matière de sécurité routière. Plus récemment, entre 2007 et 2013, les ménages ont continué de réduire de – 2,3 % par an en moyenne leur consommation de pièces détachées, une évolution qui pourrait s'expliquer à nouveau par la baisse de l'accidentologie. Cependant, en raison de la forte augmentation des prix, de + 2,6 % en moyenne annuelle, les budgets consacrés aux pièces détachées demeurent stables.

De même, en dépit d'importantes fluctuations du prix des carburants, le coefficient budgétaire des carburants et lubrifiants demeure stationnaire, suggérant, au moins à long terme, un ajustement tendanciel de la consommation des ménages à l'évolution des prix de manière à maintenir leur coefficient budgétaire inchangé. Ainsi, le coefficient budgétaire des dépenses en carburants et lubrifiants, après avoir augmenté de 3,4 à 4,3 % entre 1960 et 1984, en liaison avec la forte progression du taux d'équipement des ménages au cours de cette période, décroît ensuite avec le contre-choc pétrolier, pour atteindre un point bas de 3,3 % en 1992. Puis, il remonte pour atteindre 3,7 % lors du premier pic des prix des carburants enregistré en l'an 2000. L'ensemble de la décennie suivante sera toutefois caractérisée par une forte volatilité des prix, entraînant encore d'importantes fluctuations du coefficient budgétaire des dépenses en carburants, qui connaîtra un nouveau point bas à 3,1 % en 2003, avant de remonter à nouveau à 3,5 % en 2008, de redescendre à un plus bas historique de 2,9 % en 2009, et de remonter pour atteindre 3,4 % en 2013. Toutefois, les fluctuations du taux d'effort auraient été beaucoup plus importantes encore en l'absence d'une réduction systématique des consommations. Cette forte volatilité est génératrice d'incertitude, et peut avoir incité les ménages à maîtriser leur consommation de manière à réduire le risque budgétaire associé.

Depuis la fin des années 1990, les prix des carburants sont caractérisés par une tendance clairement haussière, ainsi que par une volatilité plus importante. Ils ont ainsi augmenté en moyenne de 4,7 % par an depuis 2002. Si les volumes consommés étaient demeurés stables, l'augmentation des prix des carburants aurait donc dû contribuer, tout comme pour les dépenses

d'entretien-réparation, au renforcement de ce poste au sein de la consommation des ménages. Toutefois, ce n'est pas ce qu'on observe. A nouveau, le poids des dépenses en carburant tend à demeurer stationnaire, atteignant 4,1 % du budget des ménages en 2007. La stabilité de ce poste budgétaire n'est bien entendu obtenue qu'au prix d'une forte réduction des volumes consommés. Pour la période la plus récente entre 2007 et 2013, les prix des carburants ont encore augmenté de + 3,6 % par an en moyenne, avec un pic en 2012, quoi qu'avec des fluctuations, en particulier un point bas en 2009. S'ajustant à cette augmentation des prix, les achats de carburants ont connu six années de baisse consécutive, de – 1,8 % par an en moyenne. Ils repartent toutefois à la hausse en 2014, en lien avec la baisse des prix enregistrée depuis le pic de 2012, de respectivement – 2,4 % en 2013 et – 3,9 % en 2014.

En plus de réduire leur consommation totale de carburant, les ménages s'efforcent d'utiliser prioritairement leurs véhicules *diesel* dont le coût d'usage est moins élevé : ainsi, entre 2007 et 2013, la consommation de gazole a augmenté de + 0,8 % par an en volume, tandis que la consommation d'essence reculait de – 5,4 % par an. Sans doute, la forte augmentation du poids des véhicules *diesel* dans le parc automobile des ménages jusqu'à la fin des années 2000 a-t-elle contribué à permettre cette évolution. En dehors d'une consommation moindre, les véhicules *diesel* continuent de bénéficier d'un avantage fiscal sur les motorisations essence – même s'il tend à se réduire - puisque la *Taxe forfaitaire par litre de carburant consommé*, qui s'est substituée à la *Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers (TIPP)*, s'élève à 43 centimes par litre de carburant consommé, contre 63 centimes pour l'essence.

A long terme, le budget automobile augmente donc plus vite que le revenu des ménages. De plus, au sein de ce budget, la composante « matérielle » - achats de véhicules et carburants – décroît tandis que la composante « servicielle » se renforce. En particulier, le poste des dépenses d'entretien, après avoir baissé de 24,7 à 20,8 % des dépenses automobiles entre 1968 et 1982, en raison du dynamisme des achats de véhicules soutenus par une forte progression du taux d'équipement des ménages pendant cette période, a progressé depuis lors pour atteindre 26,8 % en 2013. Les « autres dépenses »⁴ - assurances, cours de conduite, péages - connaissent une évolution analogue, avec une croissance régulière, passant de 5,6 % à 14,4 % du budget automobile entre 1960 et 2013, qui tend à s'accélérer depuis l'an 2000 où cette part atteignait 10,8 %. Le poids des services se renforce également à long terme lorsqu'on le rapporte à la consommation totale des ménages. Ainsi, la part des dépenses d'entretien/réparation dans le budget des ménages a continuellement progressé, passant de 1,7 % en 1959 à près de 3,2 % en 2008. Toutefois, il marque une inflexion depuis la crise pour atteindre 3,0 % en 2013. De même, le coefficient budgétaire des « autres dépenses » a progressé de 0,4 à 1,6 % de la consommation des ménages au cours de la même période, sans connaître toutefois la même inflexion, sans doute en raison du caractère obligatoire d'une grande partie des dépenses regroupées dans cette rubrique.

Le renforcement du poids des services s'explique surtout par la forte augmentation de leur prix, associée au caractère obligatoire de certaines dépenses. *Juillard (2007)* observe que les prix d'entretien/réparation ont augmenté de 35 % entre 1998 et 2006, soit 2,5 fois plus vite que l'inflation générale. Plus récemment, ils ont encore augmenté de + 3,5 % en moyenne chaque année depuis 2007, soit trois fois plus vite que l'inflation générale. Cependant, les ménages ont cette fois réagi par une réduction de leurs consommations, de l'ordre de – 4,0 % en moyenne annuelle, de manière à préserver leur taux d'effort budgétaire. L'évolution des prix semble donc avoir dépassé le consentement à payer des ménages, d'autant qu'elle coïncide avec une période de

⁴ Selon la nomenclature de l'INSEE.

stagnation du pouvoir d'achat, diminuant l'acceptabilité d'une augmentation du taux d'effort. La crise économique aura ainsi contribué à amplifier les effets de l'augmentation des prix sur la consommation des services d'entretien.

Pour certains postes de dépenses toutefois qui ont aussi fortement augmenté, les ménages n'ont pas été en mesure de réduire leurs consommations. C'est le cas en particulier : des dépenses de contrôle technique, dont les prix ont augmenté de + 3,6 % en moyenne annuelle entre 2007 et 2013, et dont les consommations ont également augmenté de + 0,5 % par an ; des assurances, dont les prix et les volumes consommés ont augmenté respectivement de + 2,9 et + 1,4 % en moyenne annuelle au cours de la même période ; des cours de conduite, pour lesquels ces chiffres s'élèvent respectivement à + 3,3 % et + 2,2 % en moyenne annuelle, et des « autres services » - péages, parkings – dont les prix ont augmenté de + 2,1 % par an et les consommations de + 0,8 % par an.

La différence de sensibilité aux prix entre les différents postes de dépenses peut sans doute s'expliquer par leur caractère plus ou moins obligatoire. En effet, les ménages disposent de certaines marges de manœuvre pour réduire leur consommation en cas d'augmentation des prix des carburants, tandis que les dépenses présentant un caractère réglementaire telles que le contrôle technique, les assurances et les cours de conduite, sont inévitables, de sorte que les ménages ne sont pas en mesure d'amortir l'envolée des prix observable depuis un peu plus d'une décennie, avec des progressions nettement supérieures à l'inflation générale pour certaines d'entre elles.

Depuis l'an 2000, les ménages ont donc réagi en réduisant leurs consommations de carburants de manière à maintenir leur effort budgétaire à un niveau acceptable. Mais en outre, la période de récession suivant la crise de 2008 est globalement caractérisée par une extension à l'ensemble des dépenses automobiles de la stratégie de maîtrise des dépenses à travers la réduction des consommations qui était jusque-là limitée aux dépenses en carburants, en particulier aux postes d'acquisition de véhicules et d'entretien.

On peut donc globalement résumer ces tendances de long terme, ainsi que les inflexions plus récentes, de la manière suivante :

- Jusqu'en 1984, l'ensemble des dépenses automobiles sont tirées vers le haut par la croissance du taux de motorisation des ménages ;
- A partir de 1989, ce processus s'inverse, entraînant une baisse du prix relatif des prix d'acquisition des véhicules, traduisant au moins deux phénomènes : d'une part, les tendances à la saturation dans la diffusion du mono-équipement, entraînant un ralentissement dans la diffusion de l'automobile ; d'autre part, la substitution du marché de l'occasion à celui du neuf, contribuant à la baisse des prix d'acquisition ;
- Le renforcement de la composante « *servicielle* » - entretien et réparation, contrôle technique, assurances, cours de conduite, péages - de la dépense automobile par rapport à la composante « *matérielle* » - acquisition de véhicules, carburants, pièces détachées – qui s'explique par la progression des prix de ces services, nettement plus rapide que l'inflation générale, combinée avec leur caractère obligatoire ;
- Les effets de la crise économique, ayant entraîné une chute des achats de véhicules ainsi qu'une extension de la logique de maîtrise des dépenses à d'autres postes budgétaires, notamment les services d'entretien et les pièces détachées ;

- A partir de 1984, les effets du contre-choc pétrolier se font sentir, entraînant une baisse du poids des dépenses en carburant au sein du budget des ménages. Ce processus se poursuit jusqu'en 1992, date à partir de laquelle le poids des dépenses en carburants dans le budget des ménages tend à suivre les fluctuations du prix du pétrole à court terme. Cependant, à long terme, la hausse des prix des carburants est amortie par une réduction de leur consommation, permettant aux ménages de stabiliser leur taux d'effort.

Par ailleurs, les ménages se sont aussi efforcés de modérer la hausse de leurs dépenses en optant plus souvent pour le *diesel* (cf. section I.2.c.1), compte tenu du moindre coût d'usage (en €/km) des véhicules *diesel*, résultant à la fois de prix à la pompe plus faibles et d'une consommation réduite par rapport aux véhicules essence.

1.1.b.3) Une forte dimension symbolique

En tant qu'enjeu politique et collectif

Pendant les Trente Glorieuses, la voiture était un symbole de renouveau économique, d'ouverture au monde, de liberté, d'indépendance et d'émancipation. Elle était également emblématique de l'entrée dans la société de consommation. Elle véhiculait donc une image essentiellement positive, en tant que vecteur de prospérité, de progrès, de liberté.

Cependant, cette dimension symbolique tend à se déprécier au fil du temps, ou du moins à rencontrer un moins large consensus. Les premières critiques de l'automobile portent sur les phénomènes de congestion résultant de l'augmentation du trafic routier, qui font perdre aux usagers une partie des gains de temps qui en sont théoriquement attendus, ainsi que sur les problèmes de bruit et de qualité des espaces publics. La critique sociétale des années 1970 est très marquée par la volonté de préserver le cadre de vie et la qualité de vie. En parallèle, on pointe du doigt les externalités négatives de la voiture, telles que l'insécurité routière, dans une époque caractérisée par un niveau très élevé d'accidentologie. En outre, la critique de l'automobile est associée à celle de la société de consommation et de l'individualisme, dont elle constitue un symbole en tant que moyen de transport privé. Par la suite, c'est la conscience écologique et environnementale qui prend le relais de ces préoccupations, pointant les problèmes de pollution de l'air générés par l'augmentation du trafic automobile.

Dans les années 1990, la modération de l'usage de la voiture devient un enjeu planétaire, avec l'émergence de la question du changement climatique, plus précisément du réchauffement de l'atmosphère terrestre d'origine anthropique provoqué par les émissions de gaz à effet de serre, auxquelles contribue fortement l'activité du transport. A la suite des *Protocoles de Kyoto et de Rio (1997)* et de la *loi LAURE (Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie)*, les agglomérations françaises de plus de 100 000 habitants sont tenues de mettre en œuvre des *Plans de Déplacements Urbains (PDU)* pour développer les alternatives à la voiture et maîtriser les consommations énergétiques, les émissions de polluants et de gaz à effet de serre du secteur des transports.

Sont également mises en avant les inévitables limites à l'exploitation des ressources naturelles et notamment des énergies fossiles, avec l'avènement du pic pétrolier à venir, risquant d'être accéléré par l'essor des économies émergentes extérieures à la zone OCDE, suscitant une concurrence croissante pour l'accès aux matières premières et aux ressources énergétiques et induisant des

tensions sur les prix, renforcées par les anticipations des spéculateurs à partir des années 1990, accompagnant l'essor de la finance de marché. Ces perspectives questionnent la capacité des sociétés développées à pérenniser des modes de vie qui reposent largement sur la disponibilité abondante d'énergies fossiles à bas coût, et induisent des changements dans la gouvernance des métropoles et la planification des transports, avec une priorité désormais clairement affichée en faveur de l'ensemble des solutions alternatives à la voiture, en particulier les transports collectifs. Un consensus semble également se dessiner parmi les décideurs sur l'idée que l'atteinte des objectifs à long terme de réduction des émissions de gaz à effet de serre, dits du facteur quatre à l'horizon 2050, ne pourront pas être atteints seulement par les évolutions technologiques (nouvelles motorisations électriques ou hybrides notamment), mais passent également par des modifications de comportements.

Dans l'imaginaire des consommateurs

La voiture ne représente pas seulement un enjeu collectif, mais fait également partie intégrante de l'imaginaire des individus. Roux (2012) observe que l'image de la voiture s'est construite au travers des courses automobiles, qui ont contribué à l'engouement des ménages pour ce moyen de transport, en tant que symbole de puissance et de vitesse. Par ailleurs, au moins à l'origine, lorsque la diffusion de l'automobile était encore restreinte, la possession d'un véhicule personnel était un symbole de statut et de position sociale, avant de se banaliser en se diffusant de manière plus large au sein de la population. Cependant, la distinction sociale se déplace vers le multi-équipement, qui demeure encore inégalement réparti au sein de la population, et la gamme de véhicules (berline/petite citadine/voiture de sport haut de gamme...), qui permet d'affirmer, soit un rang social, soit une identité socioculturelle, grâce à une segmentation de plus en plus fine de la clientèle permise par le marketing. Les berlines allemandes, par exemple, deviennent un marqueur de positionnement social (Coulangeon et Petev, 2013).

I.2) Au cours de la seconde moitié du vingtième siècle, l'auto-mobilité n'a cessé de progresser

I.2.a) La mobilité : définitions et sources

I.2.a.1) Définitions : mobilité locale, régulière, longue distance

Dans cette thèse, on évoquera très souvent la notion de « mobilité ». D'une manière tout à fait générale, celle-ci se rapporte aux pratiques de déplacements individuelles, qu'il s'agisse des motifs de déplacements, des moyens de transport, des fréquences et des distances de déplacements, et on l'utilisera parfois selon cette acception générique. Toutefois, dans un sens plus restreint et aussi plus « technique », la mobilité désigne la fréquence des déplacements, c'est-à-dire leur nombre moyen par personne et par jour. Dans l'Enquête Nationale Transports et Déplacements, on distingue en particulier la mobilité locale un jour de semaine, que l'on qualifiera aussi parfois de mobilité quotidienne, la mobilité régulière, par opposition à la mobilité occasionnelle, et la mobilité à longue distance.

La mobilité locale ou « quotidienne » se rapporte aux déplacements à moins de quatre-vingt kilomètres du domicile effectués par la personne enquêtée la veille du jour de l'enquête. Le seuil de quatre-vingt kilomètres est conventionnellement utilisé pour séparer la mobilité locale, qui inclut les déplacements urbains et la majorité des déplacements réguliers - en particulier les déplacements vers le travail - de la mobilité à longue distance, incluant les déplacements

interurbains et les déplacements présentant un caractère plus occasionnel, en particulier les déplacements de vacances, de visites à la famille et aux amis, des déplacements professionnels ainsi que certains déplacements de loisirs. Les déplacements « locaux » ne présentent pas toujours un caractère régulier, dans la mesure où les pratiques de déplacements individuelles peuvent varier d'un jour à l'autre, et sont donc contingentes au jour de l'enquête. Toutefois, lorsqu'on raisonne en moyenne, les indicateurs de mobilité fournissent une image pertinente de l'hétérogénéité des pratiques ainsi que de leur évolution. La mobilité à longue distance inclut l'ensemble des « voyages » effectués par les personnes enquêtées au cours des trois mois précédant l'enquête.

Dans l'ENTD, la mobilité locale aussi bien qu'à longue distance couvre l'ensemble de l'année, l'enquête ayant été réalisée de fin Avril 2007 à fin Avril 2008, et permet donc de saisir les effets de saisonnalité. Dans les EMD de type « *standard CERTU* » conduites par les grandes agglomérations françaises au contraire, la mobilité porte sur un jour de semaine hors week-ends et jours fériés entre Octobre et Avril, et n'inclut pas les déplacements à longue distance. De plus, ces enquêtes ne couvrent pas l'ensemble du territoire mais donnent principalement des indications sur l'évolution des pratiques de mobilité dans les grandes agglomérations. Le recours complémentaire à l'ENTD est donc nécessaire pour obtenir une image de ce qui se passe dans les petites villes, le périurbain et l'espace rural.

La mobilité « régulière » permet d'obtenir des informations sur les pratiques récurrentes des ménages, en particulier pour les déplacements liés au travail, aux études et à l'accompagnement scolaire des enfants, plutôt que sur leur mobilité la veille de l'enquête. Au niveau individuel, elle permet donc de compléter l'image de la mobilité qui pourrait être biaisée à la seule lecture des déplacements effectués la veille du jour de l'enquête.

II.2.a.2) Sources : Enquêtes Nationales Transport, Enquêtes Ménages Déplacements, panel ParcAuto

Les résultats sur les évolutions des comportements de mobilité présentés dans ce chapitre sont issus de différentes sources. En premier lieu, on utilise des enquêtes ménages sur les comportements de déplacements des Français, parmi lesquelles l'*Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD)* qui porte sur les déplacements de l'ensemble des résidents de France métropolitaine, et les *Enquêtes Ménages Déplacements (EMD)* réalisées dans un certain nombre d'agglomérations françaises, qui décrivent les comportements de mobilité de leurs résidents. On a également recours au panel *ParcAuto*, qui fournit des informations sur le parc de véhicules à disposition des ménages et son usage. On présente ici brièvement les principales caractéristiques de chacune de ces sources. Pour plus de détails, on pourra se reporter à l'article de *Armoogum et al. (2010)*, dont ces éléments sont tirés.

L'Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD)

Les Enquêtes Nationales Transport sont pilotées par le Ministère en charge des Transports, réalisées par l'INSEE et bénéficient de la collaboration scientifique de l'IFSTTAR. Compte tenu de leur coût élevé, elles associent de nombreux partenaires financiers. La dernière Enquête Nationale Transports a été réalisée de fin Avril 2007 à fin Avril 2008, et constitue la cinquième dans l'ordre chronologique, après quatre enquêtes conduites en 1967, 1974, 1982 et 1994. Les enquêtes transport successives permettent de disposer d'une image de l'évolution des comportements de

mobilité au cours du temps, ainsi que de comparaisons dans l'espace entre les différents types de territoires, car elles couvrent l'ensemble du territoire national, non seulement les zones urbaines à la manière des EMD mais également les petites villes, l'espace rural et les communes périurbaines. L'enquête transport porte en outre sur l'ensemble des déplacements des personnes enquêtées. Elle inclut notamment :

- Un volet sur la mobilité régulière, à savoir les déplacements habituels vers le lieu de travail, d'étude ou de garderie ;
- Un volet sur la mobilité locale, à savoir les déplacements réalisés la veille de l'enquête ou le dernier week-end dans un rayon de quatre-vingts kilomètres au cours du domicile ;
- Un volet sur la mobilité à longue distance, à savoir les déplacements réalisés au cours des trois derniers mois ainsi qu'une description détaillée des déplacements réalisés au cours du mois précédant la visite ;
- Une description du potentiel de mobilité, à savoir le parc de véhicules de deux à quatre roues dont disposent les ménages et de son usage à travers le remplissage d'un carnet-véhicule dans lequel sont recensés l'ensemble des déplacements de la semaine précédente, de la détention du permis de conduire ainsi que de l'accessibilité aux transports collectifs.

L'échantillon principal comporte 20 178 ménages, au sein desquels 44 958 individus de six ans et plus ont été interrogés sur leur mobilité régulière et 18 632 personnes tirées aléatoirement sur leur mobilité quotidienne et à longue distance. Certains résultats, par exemple sur la mobilité en Loire-Atlantique, sont issus de sur-échantillonnages régionaux financés par les régions françaises, notamment en Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Pays-de-la-Loire, Bretagne et Ile-de-France. Outre les informations précédentes, l'enquête comporte également des dispositifs innovants présentant un caractère expérimental. D'une part en effet, elle inclut un volet biographique portant sur 1 100 volontaires qui vise à étudier l'influence des habitudes passées sur les comportements actuels. Les approches biographiques, intitulées « *life-oriented approach* » dans la littérature anglo-saxonne, tendent en effet à se développer, car elles apportent une information supplémentaire sur les déterminants de la mobilité, en particulier la dimension historique et spécifiquement individuelle des comportements qui ne peut être saisie à travers les approches classiques sur données transversales et les variables sociodémographiques. Mais elle contient aussi une mini-enquête par GPS auprès de 750 volontaires, qui vise à tester le potentiel de ce type de recueil en substitution ou en complément aux modes de recueil classiques pour les prochaines enquêtes.

Les Enquêtes Ménages Déplacements (EMD)

Les Enquêtes Ménages Déplacements, financées par les collectivités locales et bénéficiant d'une subvention de l'Etat, sont réalisées selon la méthodologie dite « *standard CERTU* » de l'ancien *Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports et l'Urbanisme*, depuis lors devenu la *Direction Territoires Villes (DtectV)* du *Centre d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA)*. Ces enquêtes sont essentiellement ciblées sur la connaissance des pratiques de déplacements dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Elles portent sur les déplacements des résidents du périmètre de l'enquête entre Avril et Octobre, hors week-ends, jours fériés et vacances scolaires. Contrairement aux enquêtes nationales transport pour lesquelles une personne tirée au sort dans le ménage est interrogée sur ses déplacements, l'ensemble des personnes du ménage de cinq ans et plus sont interrogées. Plus d'une centaine d'EMD ont été réalisées depuis 1976. Dans certaines agglomérations ayant précocement adapté ce dispositif, la réalisation de plusieurs enquêtes permet de disposer de résultats sur les évolutions de la mobilité.

Il est aussi possible de produire des indicateurs synthétiques par consolidation des résultats des enquêtes au niveau national et d'obtenir ainsi des évolutions en années glissantes. Par ailleurs, la création d'une base unifiée hébergée par la *DterNP* du *CEREMA* est en cours. Celle-ci permettra de réaliser des analyses ciblées sur des sous-populations particulières pour lesquelles les échantillons obtenus à partir d'une seule enquête sont généralement trop petits pour obtenir des résultats significatifs, par exemple sur la pratique du vélo ou des deux-roues motorisés. En parallèle aux enquêtes conduites dans les grandes agglomérations, il existe aussi, depuis le début de la décennie 2000, des formats d'enquêtes allégés adaptés à des territoires de moindre densité pour lesquels le coût d'une collecte en face-à-face serait trop élevé, en particulier les *Enquêtes Déplacements Villes Moyennes (EDVM)*, pour les agglomérations entre 20 000 et 100 000 habitants, et les *Enquêtes Déplacements Grands Territoires (EDGT)* pour des territoires périurbains ou ruraux. Dans ce cas, un recueil téléphonique est substitué au recueil en face-à-face pour au moins une partie des répondants.

L'inconvénient des EMD est qu'elles couvrent encore insuffisamment les territoires de faible densité auxquels sont associés des enjeux croissants, notamment par rapport à la problématique de la dépendance automobile, et les périodes « anormales », et ne permettent donc pas de saisir les effets de saisonnalité dans les pratiques de mobilité. Elles ne couvrent pas non plus la mobilité à longue distance, ni les caractéristiques du parc de véhicules et de son usage. En contrepartie, elles présentent certains avantages sur l'ENTD. En premier lieu, le mode de collecte des déplacements permet généralement un meilleur recueil des déplacements courts, notamment piétons, conduisant à l'estimation de niveaux de mobilité quotidienne généralement supérieurs à ceux qui sont relevés dans l'ENTD. En outre, la base unifiée agrégeant les résultats des différentes EMD devrait constituer un échantillon conséquent au niveau national, permettant de réaliser des analyses sur des groupes spécifiques, pour lesquels l'ENTD s'avère insuffisante. Cette base unifiée devrait également permettre d'assurer un suivi en continu de la mobilité, notamment si elle est combinée avec le recensement de la population maintenant réalisé annuellement sur une base tournante, contrairement aux ENTD qui sont réalisées à intervalles distants, et dont la périodicité tend à décroître au fil du temps. Ainsi, les deux premières enquêtes nationales transport étaient séparées de sept ans, la seconde et la troisième de huit ans, la troisième et la quatrième de douze ans, la quatrième et la cinquième de quatorze ans. On aurait pu s'en satisfaire dans les années 1990 à une époque où l'évolution des comportements était relativement régulière. Mais cette évolution est maintenant problématique dans un contexte de volatilité marqué par des inversions de tendances. Les différents acteurs sont donc friands de données actualisées, d'autant que des observations de plus en plus espacées conduisent à passer à côté de certaines inflexions importantes ou du moins à les repérer tardivement. Ainsi, l'inflexion des comportements que nous présentons et commentons dans cette thèse, commence vers le milieu de la période séparant les deux dernières enquêtes nationales transport. A l'heure actuelle, des réflexions sont en cours pour alléger le dispositif de l'ENTD, compte tenu d'un coût jugé trop élevé par ses financeurs. En contrepartie, le nouveau format de l'enquête devrait permettre un suivi en continu des évolutions de la mobilité, à l'image du dispositif adopté par l'enquête transport britannique (NTS) ou le panel de mobilité allemand (MOP).

Le panel ParcAuto

L'enquête *ParcAuto* est réalisée chaque année par *TNS-SOFRES* auprès de 10 000 ménages. Les taux de réponse permettent d'assurer le suivi d'environ 6 à 7000 ménages chaque année, pour lesquels sont décrits aussi bien l'équipement automobile que l'usage des véhicules. L'enquête présente une structure de panel, c'est-à-dire qu'une partie des répondants sont conservés d'une

année à l'autre, ce qui permet d'assurer un suivi longitudinal des comportements de motorisation et d'usage des véhicules. L'enquête permet en particulier de connaître, pour chaque véhicule du ménage, outre ses caractéristiques en termes de consommation de carburant, de puissance fiscale, de marque, de modèle, d'état d'acquisition (neuf ou d'occasion), le kilométrage annuel parcouru, ainsi que l'utilisateur principal, dont certaines caractéristiques sont par ailleurs décrites (sexe, âge, catégorie socioprofessionnelle, niveau de diplôme...).

1.2.b) Les invariants de la mobilité : la fréquence de déplacements et le budget-temps quotidien en moyenne stables sur longue période

La fréquence moyenne des déplacements quotidiens évolue relativement peu au cours du temps. Ainsi, d'après l'Enquête Nationale Transports et Déplacements, la mobilité quotidienne demeure stable entre 1994 et 2008, après avoir légèrement baissé au cours des trente dernières années, notamment en raison de la disparition des retours au domicile pendant la pause méridienne (Hubert *et al.*, 2013). Chaque personne effectue ainsi en moyenne un peu plus de trois (3,15) déplacements quotidiens par jour de semaine, en 1994 comme en 2008, contre 3,34 en 1982. Ce taux est un peu plus élevé dans les EMD locales, en raison d'un mode différent de comptabilisation des déplacements, à environ 3,6 déplacements par jour et par personne, mais il tend également à demeurer stable (Quetelard, 2012). De ce fait, le volume des déplacements locaux réalisés par les personnes de six ans et plus a progressé quasiment au même rythme que la croissance démographique, de 163,6 millions en 1982 à 176,7 millions en 2008 (Quetelard, 2010).

De même, le temps que chaque personne consacre en moyenne à ses déplacements représente toujours un peu moins d'une heure par jour, indépendamment de la période et du lieu (Zahavi, 1974 ; Marchetti, 1994). Cet invariant semble se retrouver dans les enquêtes sur la mobilité des résidents de France métropolitaine, en particulier dans les Enquêtes Nationales Transport qui fournissent des indications sur les temps de déplacements. Après une période de stabilité parfaite aux alentours de cinquante-cinq (55) minutes par jour et par personne entre 1982 et 1994, il a très légèrement progressé pour atteindre cinquante-six (56) minutes en 2008 (Quetelard, 2010). Une manière de voir l'évolution du temps de transport quotidien consiste à la considérer comme la résultante des évolutions respectives des distances et des vitesses de déplacements, de sorte que si la vitesse de déplacement augmente plus vite que la distance, le temps de transport diminue, et à l'inverse, si elle augmente moins vite que la distance, alors le temps de transport augmente. Selon ce point de vue, une interprétation possible de la légère augmentation des temps quotidiens de déplacements entre 1994 et 2008 consiste à considérer que l'augmentation des vitesses n'a pas été suffisante pour compenser l'allongement des déplacements. Toutefois, cette manière de voir revient à supposer que l'évolution des distances et des vitesses de déplacements sont indépendantes. Or, l'élargissement des bassins de vie est clairement une conséquence de l'augmentation des vitesses de déplacements, le temps consacré par les individus à se déplacer, d'une heure par jour environ, étant le même depuis les débuts de l'ère industrielle et même peut-être auparavant (Metz, 2010), au point qu'on pourrait considérer qu'il s'agit d'un « invariant anthropologique », lié à la permanence des programmes d'activités que les individus doivent effectuer au cours d'une journée, au sein desquels le temps de transport constitue un temps interstitiel. Ce temps constituerait donc une contrainte structurant les comportements, de même que la part de leur budget que les ménages peuvent consacrer aux dépenses de transport. Cependant, à court terme, on peut admettre l'existence de décalages entre l'évolution des contraintes spatiales et celle du potentiel de mobilité, par exemple en cas de tensions conjointes sur les prix immobiliers qui conduisent les ménages à s'éloigner toujours davantage de leur lieu de

travail, et sur les prix des carburants qui conduiraient les ménages à réduire la part modale de la voiture pour leurs déplacements quotidiens.

Par ailleurs, il convient d'observer que cette stabilité du budget-temps moyen recouvre un certain degré d'hétérogénéité spatiale, en particulier entre les habitants de l'agglomération parisienne et le reste du territoire. Le temps de transport quotidien de soixante-quinze (75) mn est ainsi nettement plus élevé dans l'agglomération parisienne que pour le reste du territoire (*Quetelard, 2010*). En outre, si le budget-temps de transport quotidien varie peu au cours du temps, il en va différemment pour la durée moyenne d'un déplacement qui continue d'augmenter, de 16,4 mn en 1982 à 17,3 mn en 1994 puis 17,9 mn en 2008 (*Quetelard, 2010*). Ces résultats suggèrent que les individus tendraient à compenser l'augmentation des durées des déplacements quotidiens par la réduction de leur nombre, notamment en supprimant les retours au domicile pendant la pause méridienne, de manière à maintenir leur temps de transport quotidien total constant. Ils chercheraient donc à maintenir leur budget-temps de transport constant, de la même manière qu'ils semblent chercher à préserver les coefficients budgétaires associés aux transports et, au sein du poste des transports, aux dépenses en carburants. La notion d'invariant semble donc fondamentale pour comprendre les logiques qui sous-tendent les évolutions de comportements au fil du temps. On donnera de cette question une interprétation plus détaillée dans le chapitre II, en particulier dans la section II.3.c.5.

1.2.c) La diffusion de l'automobile a transformé les comportements de mobilité

1.2.c.1) Des ménages et des adultes de plus en plus motorisés

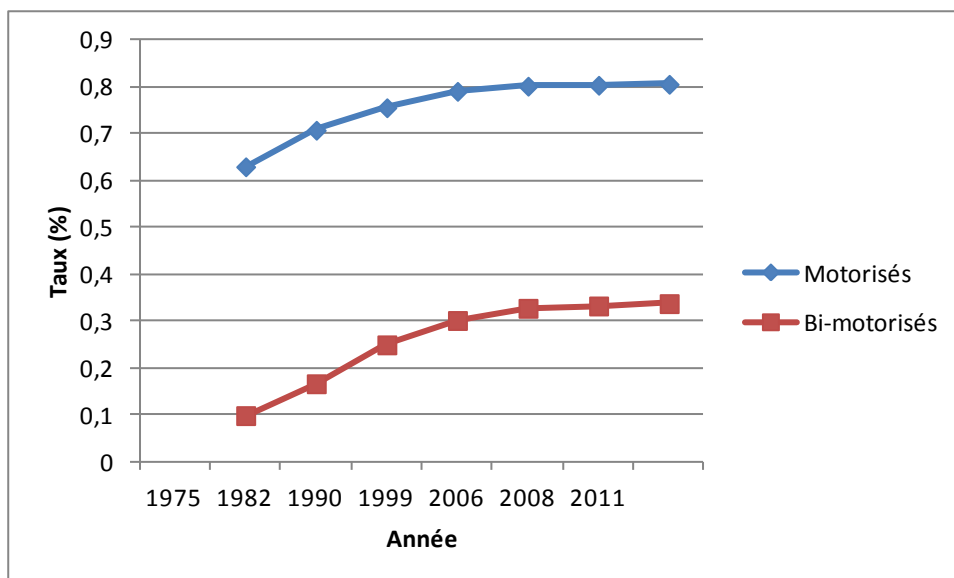
Le parc des véhicules particuliers s'est accru à un rythme soutenu mais qui ralentit progressivement

Le parc des voitures particulières à disposition des ménages n'a cessé de croître, progressant de 8,9 millions en 1966 à 18,8 millions en 1982 puis à 32,7 millions en 2008, selon les Enquêtes Nationales Transport (*Roux, 2012*). Cette évolution s'explique elle-même par la diffusion du permis de conduire, condition pour pouvoir utiliser un véhicule personnel. Alors qu'à la fin de la seconde guerre mondiale, la diffusion du permis de conduire au sein de la population était encore relativement restreinte, celle-ci n'a cessé de s'étendre depuis, faisant passer le nombre de titulaires de 17 à 39 millions entre 1973 et 2007, jusqu'à représenter 83 % de la population adulte (*Roux, 2012*). Les données du recensement rénové de la population permettent d'actualiser ces résultats pour la période postérieure à la dernière enquête nationale transports, au moins jusqu'en 2011. Ainsi, d'après le recensement de la population, le parc de voitures particulières à disposition des ménages aurait progressé de 31,4 millions à 33,4 millions entre 2006 et 2011. La croissance du parc de voitures particulières a toutefois tendance à ralentir au fil du temps. Ainsi, toujours d'après les données du recensement de la population, le parc de voitures particulières aurait progressé de 4,6 % par an entre 1975 et 1982, de 3,3 % par an entre 1982 et 1990, de 2,2 % par an entre 1990 et 1999, de 3,0 % par an entre 1999 et 2006, de 1,4 % par an entre 2006 et 2008, et de seulement 1,1 % par an entre 2008 et 2011. En dépit d'un léger redémarrage de la croissance du parc de voitures particulières entre 1999 et 2006, la tendance de long terme est donc bien à un ralentissement graduel, illustrant sans doute un processus de convergence vers la saturation, le parc de voitures particulières ayant tendance à plafonner depuis 2006.

On examine ensuite les contributions respectives de la croissance démographique et de la progression de l'équipement automobile des ménages à la croissance du parc de voitures particulières. La progression de l'équipement automobile des ménages peut elle-même être décomposée entre une première vague de motorisation – c'est-à-dire le passage du statut de ménage non-motorisé à celui de ménage disposant d'au moins une voiture particulière - et une seconde vague portée par la diffusion d'un second véhicule dans le ménage, qui survient plus tardivement. La contribution de la croissance démographique à l'accroissement du parc de véhicules particuliers tend à demeurer stationnaire, aux fluctuations des naissances près. Elle s'élève ainsi à 0,5 % entre 1982 et 1990, 0,4 % entre 1990 et 1999, 0,7 % entre 1999 et 2006, 0,6 % entre 2008 et 2011 et 0,5 % entre 2008 et 2011. En revanche, la contribution de la motorisation croissante des ménages à l'augmentation du parc de voitures particulières a tendance à décroître au fil du temps, traduisant un processus de convergence vers la saturation. Ainsi, à population constante, le recul de la proportion de ménages non-motorisés induit une croissance annuelle du parc de 1,1 % entre 1975 et 1982, 0,6 % entre 1982 et 1990, 0,4 % entre 1990 et 1999, 0,2 % entre 1999 et 2006, et seulement 0,1 % depuis 2006. La croissance induite par le multi-équipement diminue plus tardivement, à partir de 1990, mais suit néanmoins le même processus : elle décroît de 1,0 % par an sur l'ensemble de la période entre 1975 et 1990, à 0,6 % entre 1990 et 1999, 0,4 % entre 1999 et 2006, et 0,2 % depuis 2006. En raison de la tendance progressive à la saturation de l'équipement automobile des ménages, la croissance démographique représente donc désormais la principale contribution à l'augmentation du parc de voitures particulières. Nous reviendrons par la suite, notamment dans le chapitre II, sur la notion de saturation dans la diffusion d'un bien durable, et sur le rôle qu'elle joue dans l'explication du plafonnement de l'usage de la voiture observé depuis un peu plus d'une décennie, mais aussi dans l'explication d'autres phénomènes relevés dans la littérature, tels que la décroissance tendancielle de l'élasticité au revenu de l'usage de la voiture.

La proportion de ménages motorisés a augmenté

La croissance du parc de véhicules particuliers à disposition des ménages s'explique donc en partie par l'accroissement des niveaux de motorisation. Une première manière de mesurer le niveau d'équipement des ménages consiste à estimer la proportion de ménages disposant d'au moins une voiture particulière, que l'on qualifie également de ménages « motorisés ». Ainsi, toujours d'après les données du recensement de la population, la proportion de ménages motorisés n'a cessé de croître, passant de 53,0 % d'après le recensement de 1968 à 63,0 % en 1975, 70,8 % en 1982, 75,6 % en 1990, 79,1 % en 1999, 80,2 % en 2006, 80,4 % en 2008, 80,6 % en 2011. Ainsi, environ quatre ménages sur cinq disposent aujourd'hui d'au moins un véhicule particulier. Longtemps assimilée à un objet de luxe, la voiture est donc devenue avec le temps un bien de consommation courant, voire un bien de première nécessité, dont la privation est susceptible de générer diverses formes d'exclusion sociale. On note cependant, depuis 1999, une tendance à la saturation de la proportion de ménages motorisés, suggérant à la fois l'existence d'entraves persistantes à l'acquisition d'un véhicule, pouvant résulter de difficultés financières ou cognitives pour l'accès au permis de conduire, par exemple, ou encore de l'absence de nécessité de disposer d'un véhicule, par exemple pour les ménages résidant au sein de zones urbaines bien desservies par les transports en commun et n'ayant pas de besoins de mobilité importants en dehors de leurs déplacements quotidiens.



Graphique 2 : Pourcentage de ménages motorisés et multi-motorisés (Lecture : 0,5 = 50 % de ménages motorisés)

Source : Recensements de la population 1968, 1975, 1982, 1990, et vagues annuelles 2006, 2008, 2011 du recensement permanent

Au fil du temps, la demande s'est reportée vers le multi-équipement, faisant de l'automobile un bien de plus en plus individuel

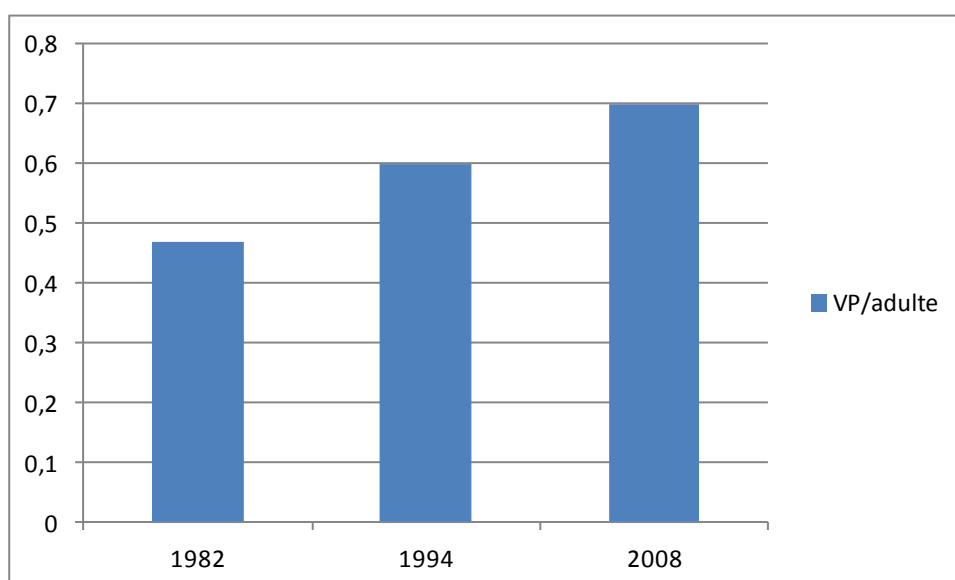
Cependant, la proportion de ménages motorisés est un indicateur insatisfaisant du niveau d'équipement des ménages, car la croissance de la demande s'est reportée vers le multi-équipement. Cette évolution suit le modèle américain, dans lequel la voiture familiale tend à être remplacée de plus en plus par la voiture individuelle (Dupuy, 1999 ; Papon et Hivert, 2008). D'après le recensement de la population, la proportion de ménages multi-équipés a progressé de 9,9 % en 1975 à 16,7 % en 1982, 25,0 % en 1990, 30,2 % en 1999, 32,8 % en 2006, 33,3 % en 2008 et finalement 33,8 % en 2011. Aujourd'hui, plus d'un ménage sur trois dispose donc d'au moins deux voitures. Toutefois, tout comme pour la proportion de ménages motorisés, la croissance du multi-équipement s'est nettement ralentie au fil du temps, et celui-ci tend à plafonner depuis 2006. La diffusion du multi-équipement semble donc elle aussi présenter des limites. Il est toutefois difficile à l'heure actuelle, sous réserve d'un examen plus approfondi, de déterminer si ce plafond présente un caractère temporaire et résulte de la crise économique, ou bien représente un seuil de saturation résultant de la satisfaction de l'essentiel des besoins de motorisation.

En parallèle au multi-équipement, la proportion de ménages disposant de trois voitures ou plus tend aussi à plafonner. D'après les données du panel *ParcAuto* (Source : INSEE d'après CCFA-TNS-SOFRES-ADEME-INSEE-SOeS), la proportion de ménages disposant d'au moins trois voitures particulières a progressé de 1,7 % en 1980 à 5,5 % en 2006. Toutefois, cette part tend à décroître depuis lors, déclinant à 5,0 % en 2013. Les situations de ménages disposant de trois voitures particulières ou davantage peuvent correspondre par exemple au cas d'enfants majeurs demeurant au foyer parental, en raison de l'allongement des études ou de la difficulté à accéder à un logement autonome dans les zones urbaines denses, du fait de l'augmentation des loyers. Les données de *ParcAuto* fournissent également des informations sur les évolutions des proportions de ménages non-motorisés et multi-motorisés postérieures à 2011. Elles suggèrent également un

léger recul de la proportion de ménages motorisés, de 83,5 % en 2011 à 83,1 % en 2013, et de la proportion de ménages bi-motorisés, de 30,7 à 29,9 %⁵.

Une des conséquences majeures du multi-équipement est la tendance à l'individualisation des déplacements et à la baisse des taux d'occupation. Ainsi, les trois quarts des déplacements automobiles sont réalisés sans passager, et un sur cinq avec un seul passager, le taux d'occupation des véhicules diminuant de 1,3 à 1,2 entre 1994 et 2008, d'après l'Enquête Nationale Transports (Quetelard, 2010). Le multi-équipement s'accompagne également d'un vieillissement du parc et d'un moindre usage individuel de chaque véhicule à partir de l'an 2000 (CGDD, 2012). Quelle que soit la taille du ménage, les voitures sont de moins en moins utilisées collectivement par leurs membres et de plus en plus individuellement (Papon et Hivert, 2008). Cependant, compte tenu de la stabilisation des niveaux d'équipement depuis le milieu des années 2000, on peut également s'attendre, dans l'attente de données actualisées de la future Enquête Nationale Transports, à une stabilisation des taux d'occupation.

Le taux de motorisation individuel s'est accru



Graphique 3 : Nombre de voitures particulières par adulte en 1982, 1994 et 2008

Source : Enquêtes Nationales Transports et Déplacements

Afin de tenir compte de la tendance à l'individualisation de l'équipement automobile, il est possible d'utiliser un indicateur plus fin du niveau d'équipement des ménages, à savoir le taux de motorisation individuel, défini comme le rapport entre le nombre de voitures et le nombre d'adultes des ménages. Ainsi, le nombre de voitures par adulte connaît une augmentation moyenne annuelle de + 1,1 % entre 1994 et 2008, atteignant 0,70 véhicules par adulte, après 0,60

⁵ Les écarts avec le recensement sont explicables par l'hétérogénéité des sources. L'estimation de la proportion de ménages motorisés est légèrement supérieure dans *ParcAuto*, et celle de la proportion de ménages multi-motorisés légèrement inférieure. Cependant, les évolutions peuvent être analysées à partir de l'une ou l'autre source, en l'absence de changements majeurs dans la méthodologie. Le recul du niveau de motorisation des ménages dans *ParcAuto* étant de très faible ampleur, nécessitera d'être confirmé par les résultats du recensement postérieurs à 2011. Toutefois, le point important pour l'instant est que les deux sources confirment une tendance au plafonnement des niveaux d'équipement depuis 2006. Ainsi, selon *ParcAuto* également, la proportion de ménages motorisés n'aurait progressé que de 82,0 à 83,5 % entre 2006 et 2011, et celle des ménages bi-motorisés de 30,2 à 30,7 % entre 2006 et 2010.

en 1994 et 0,47 en 1982, d'après l'Enquête Nationale Transports (*Robin, 2010*). La croissance du taux de motorisation par adulte a donc également ralenti par rapport à la période précédente (1982-94), où elle atteignait + 2,0 % par an. Si on se restreint aux seules grandes agglomérations en ayant recours aux Enquêtes Ménages Déplacements (EMD), on trouve que le nombre de voitures pour 1000 personnes y a progressé de trois-cents (300) à la fin des années 1970 à plus de cinq-cents-cinquante (550) à la fin des années 2000 (*De Solère, 2012*). L'augmentation des niveaux individuels d'équipement automobile s'explique notamment par la proportion croissante de titulaires du permis de conduire, qui a progressé de 50,1 à 83,4 % de la population adulte entre 1973 et 2008, d'après les Enquêtes Nationales Transport. Ce phénomène de diffusion s'explique par l'existence d'effets de génération, les générations de femmes nées avant la guerre n'ayant eu qu'un accès restreint au permis de conduire. Le développement du marché de l'occasion a également contribué à la diffusion de l'automobile en entraînant une baisse des coûts d'acquisition.

Les seniors et les femmes apportent à présent la contribution la plus forte à la croissance de l'équipement et de la mobilité automobile

Ce sont les seniors et les femmes qui apportent la contribution la plus importante à la diffusion de l'automobile. En raison de l'accès massif des femmes au permis de conduire et à un véhicule personnel dans les générations nées après la seconde guerre mondiale, les nouvelles générations de retraités issues du baby-boom sont plus motorisées que les précédentes. Elles tendent de plus à moins fréquemment se dé-motoriser avec la cessation de l'activité professionnelle et à conserver leurs habitudes de conduite passées (*Bodier, 1996 ; Herpin et Verger, 2000*).

Ainsi, la progression du parc de véhicules est extrêmement forte pour les retraités, soit + 177 % entre 1973 et 2008 d'après les Enquêtes Nationales Transport. Cette évolution s'explique en particulier par l'augmentation du taux de permis des femmes de plus de 55 ans, qui a progressé de 64 à 76 % entre 1994 et 2008, tandis que le taux de motorisation progressait de soixante-quatre (64) à quatre-vingt-cinq (85) voitures pour cent ménages chez les 50-65 ans (*Robin, 2010*).

De plus, ainsi que l'observe *Lasserre (2012)*, les retraités des années 2000 sont plus mobiles que ceux des années 1990, les plus de 65 ans réalisant ainsi en moyenne 2,1 déplacements par jour en 2008 contre 1,8 en 1994, et le nombre de *seniors* ne se déplaçant pas un jour donné reculant de 41 % à 34 % au cours de la même période. En outre, la part de la voiture tend à se renforcer dans les déplacements quotidiens des seniors, avec une progression de 58 à 62 % chez les 65-74 ans et de 33 à 51 % chez les plus de 75 ans entre 1994 et 2008, tandis qu'au cours de la même période, la part de la marche a reculé respectivement de 33 à 30 %, et de 52 à 40 % dans les mêmes groupes d'âge.

En matière de mobilité à longue distance, on observe des tendances analogues, la fréquence des voyages à longue distance des retraités progressant de 3,3 à 4,6 voyages annuels, soit une croissance de + 2,4 % annuels, contre seulement + 0,7 % annuels chez les actifs. Cette progression résulte presque intégralement d'un usage accru de la voiture, de 2,4 à 3,7 voyages annuels, la part modale de la voiture particulière augmentant de 73 à 81 % entre 1994 et 2008, au détriment de l'autocar, qui décline de 9,5 à 3,5 % (*Grimal, 2010*). Les retraités ont surtout augmenté leurs déplacements de sociabilité, de consommation et de loisirs, pour lesquels la voiture est massivement plébiscitée.

Ces évolutions, qui contredisent l'hypothèse classique selon laquelle, les seniors se déplaçant moins que les actifs, le vieillissement de la population devrait entraîner une baisse de la mobilité, et en particulier de la mobilité motorisée, ont contribué à une remise en cause de l'idée de saturation de la demande automobile.

Une diffusion qui demeure inachevée

En dépit de la forte progression des niveaux d'équipement par ménage et par individu, la diffusion de l'automobile demeure encore inachevée. Elle est ainsi caractérisée par une certaine hétérogénéité, suggérant que le seuil de saturation pourrait se situer nettement en-deçà du seuil théorique d'une voiture par adulte, en raison d'une part d'entraves persistantes à l'accès au permis de conduire (ressources financières insuffisantes, handicaps, illettrisme...) qui ne pourront pas totalement être levées, d'autre part des caractéristiques de l'environnement construit qui ne requièrent pas toujours la détention d'un véhicule, en particulier dans les territoires densément urbanisés bien pourvus en transports collectifs et où les distances à parcourir sont plus faibles. On peut observer par exemple que l'Ile-de-France est la région la moins motorisée, en dépit d'un niveau de vie élevé (*Madre, 1989 ; Collet et al., 2013*).

Le parc automobile de plus en plus dieselisé et d'occasion jusqu'en 2008, une baisse des ventes de véhicules diesel depuis 2011, suivant la fin du dispositif de prime à la casse et amplifiée par la récession

De plus en plus, les achats de véhicules sont effectués d'occasion. Ainsi, en 1966, la moitié des voitures étaient acquises à l'état neuf, contre seulement 28 % en 2007 (*Roux, 2012*). En outre, la tendance était à la *dieselisation* du parc depuis les années 1980, un mouvement qui peut s'interpréter comme une réaction de long terme aux augmentations successives des prix des carburants, permettant aux ménages d'augmenter leur niveau d'usage des véhicules pour le même coût global (effet de rebond) et/ou, plus récemment, de compenser l'augmentation des prix des carburants de manière à maintenir leur niveau global de mobilité inchangé, ce qui correspondrait plutôt à la stratégie des années 2000 (*Hivert, 2011*).

Ainsi, d'après les Enquêtes Nationales Transports, entre 1982 et 1994, le nombre de véhicules *diesel* a augmenté de + 15,6 % en moyenne chaque année, une croissance qui demeure élevée entre 1994 et 2008 à environ + 7,0 % annuels, en dépit de taux de pénétration du *diesel* déjà considérables (*Robin, 2010*). Ces résultats peuvent être confirmés et actualisés à partir des séries des Comptes Transport de la Nation - *Section G : Bilan de la circulation*. D'après le cinquante-et-unième rapport à la *Commission des Comptes Transport de la Nation (CGDD, 2014)*, le nombre d'immatriculations de véhicules *diesel* neufs a fortement progressé à partir de 1997, d'environ 800 000 véhicules par an à 1 600 000 en 2008. Au cours de la même période, le parc roulant de voitures *diesel* a été multiplié par quatre, passant de quatre à seize millions. A l'inverse, les immatriculations neuves de véhicules essence ont été divisées par trois entre 1990 et 2008, déclinant de 1 600 000 à 500 000 véhicules, tandis que le parc total de véhicules essence reculait de vingt à quinze millions de véhicules.

Compte tenu des évolutions respectives des volumes d'immatriculations par type de motorisation, la part du *diesel* au sein des achats de voitures neuves n'a cessé de progresser, passant d'environ un tiers en 1990 à 77 % en 2008, et devenant majoritaire à partir de 2001. Au niveau du parc, l'année 2008 correspond de plus à un quasi-équilibre entre le parc de véhicules essence et le parc de véhicules *diesel*. Selon l'ENTD, c'est parmi les employés, les ouvriers et les retraités que la

progression du *diesel* est la plus forte, avec par exemple une multiplication par quatre chez les ménages de 75 ans et plus (Robin, 2010).

La préférence croissante de l'ensemble des utilisateurs pour les véhicules *diesel* tend à en faire des véhicules moins destinés aux utilisateurs intensifs que par le passé (CGDD, 2012). Cette banalisation tend à exercer « mécaniquement » un effet à la baisse sur le kilométrage des véhicules *diesel*, une évolution favorisée par le développement de l'offre *diesel* pour les véhicules bas de gamme et l'augmentation des prix des carburants en 1999-2000 et de manière plus continue à partir de 2004. En dépit de prix d'acquisition devenant plus élevés, les ménages continuent de plébisciter le *diesel* du fait d'une plus grande robustesse, de prix à la pompe demeurant plus faibles en dépit du resserrement des prix de l'essence et du gazole, et d'une consommation moindre.

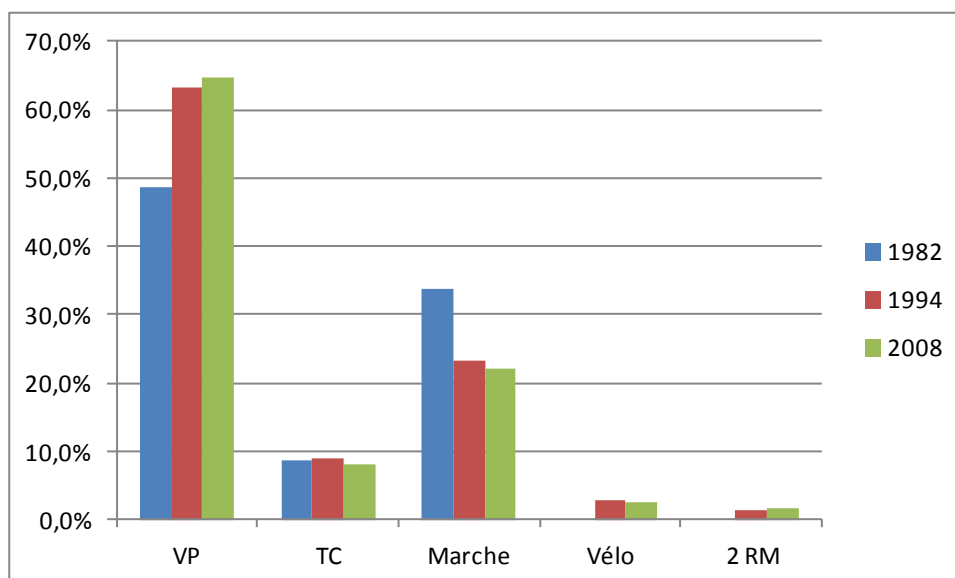
Cependant, les séries des *Comptes Transport de la Nation* et de la *Comptabilité Nationale* suggèrent une inflexion de la préférence pour le *diesel* depuis 2008 : ainsi, 52 % seulement des immatriculations de voitures neuves étaient de type *diesel* en 2014 contre 71 % en 2008 (Sanchez-Gonzalez, 2014). D'après la *Commission des Comptes Transport de la Nation* (CGDD, 2014), les immatriculations *diesel* connaissent un net repli depuis 2011, année suivant la fin de la prime à la casse et du dispositif de bonus-malus. Au contraire, le nombre des immatriculations de véhicules essence tend à se stabiliser depuis 2008, à un niveau très bas. La chute récente des achats de véhicules *diesel* neufs pourrait donc moins traduire un regain d'attractivité des véhicules essence ou une désaffection pour le *diesel* qu'une tendance à la saturation du taux de pénétration des véhicules *diesel*, amplifiée par la fin des aides gouvernementales. La crise économique y contribue sans doute également, les voitures *diesel* coûtant plus cher à l'achat que les voitures essence. Enfin, la baisse des prix des carburants en 2014 pourrait avoir incité les ménages à revenir vers les motorisations essence, d'autant que l'avantage comparatif du gazole tend à se réduire au fil du temps, en raison d'un différentiel de fiscalité moins important. Par ailleurs, la consommation spécifique (l/100 km) des véhicules essence a davantage diminué que celle des véhicules *diesel*, soit 10 % de moins en 2006 qu'en 1995 pour les véhicules essence, contre seulement 3,6 % pour les véhicules *diesel*. Ces derniers bénéficient notamment des techniques de *downsizing* qui permettent de réduire la consommation des moteurs sans réduire leurs performances.

Le repli du *diesel* s'inscrit dans un contexte d'effondrement du marché des véhicules neufs. Ainsi, d'après les données de la *Commission des Comptes Transport de la Nation* (CGDD, 2014), les immatriculations de voitures neuves ont fortement chuté entre 2008 et 2013, de - 6,2 % par an en moyenne, entraînant un net ralentissement de la croissance du parc roulant, de seulement + 0,5 % par an contre + 0,9 % par an entre 2003 et 2008. D'après une étude du *Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (CCFA)*, cette évolution s'étend à l'ensemble de l'Europe de l'Ouest, avec un recul de 22 % des ventes entre 2007 et 2013. Toutefois, l'étude pointe des évolutions hétérogènes pour le taux de pénétration du *diesel* et son poids relatif au sein des ventes de véhicules neufs selon qu'il s'agit de pays dans lesquels le taux de pénétration du *diesel* était élevé (Belgique, Espagne, France, Italie...), où la part de marché du *diesel* au sein des ventes de véhicules neufs tend à reculer dans la période récente, et les pays nordiques tels que l'Allemagne et le Royaume-Uni où il est encore faible, et continue de progresser rapidement. Ces évolutions contrastées semblent appuyer la thèse d'un certain équilibrage du marché, avec une saturation de la pénétration du *diesel* en France, et peut-être un rattrapage qui s'amorcerait dans les pays du Nord, pouvant indiquer une convergence des taux de *dieselisation* du parc et une érosion des spécificités nationales.

La durée de conservation de ces derniers étant plus importante que pour les véhicules essence⁶, le poids des véhicules diesel au sein de l'ensemble du parc continue tout de même de s'accroître. Ainsi, d'après les Comptes Transport de la Nation (CGDD, 2014), le parc roulant de véhicules essence a continué de reculer de – 3,5 % annuels entre 2008 et 2013, alors qu'au cours de la même période, le parc de véhicules *diesel* continuait de progresser de + 3,6 % par an, pour atteindre environ vingt millions de voitures particulières et 59,7 % du parc automobile des ménages en 2013⁷, contre 58,5 % en 2011, date à partir de laquelle la part du *diesel* dans les immatriculations neuves décroît. Toutefois, l'accroissement de la proportion de voitures *diesel* au sein du parc total ralentit avec une croissance moyenne de + 1,8 % par an entre 2009 et 2012, contre + 2,3 % par an entre 2002 et 2009. Le parc roulant de véhicules *diesel* poursuivant sa progression, celui-ci est devenu largement majoritaire, représentant environ 62 % du parc total de voitures particulières en 2013.

1.2.c.2) Une transformation des comportements de mobilité

La part modale de la voiture a nettement augmenté, tant pour les déplacements quotidiens qu'à longue distance



Graphique 4 : Partage modal au sein des déplacements quotidiens en 1982, 1994 et 2008

Source : Enquêtes Nationales Transport et Déplacements

Au fil du temps, la motorisation croissante des ménages a contribué à modifier leurs pratiques de déplacements, de plus en plus assurés par le moyen de la voiture. En effet, la part de la voiture au sein des déplacements quotidiens n'a cessé de progresser jusqu'au milieu des années 1990, passant de 49 à 63% entre 1982 et 1994. La voiture constitue toujours aujourd'hui le mode de transport dominant tant pour la mobilité locale qu'à longue distance (Armoogum et al., 2010). Elle constitue de ce fait un mode généraliste, tandis que la séparation est en général assez nette entre

⁶ De ce fait, les acquisitions de véhicules neufs *essence* sont plus fréquemment des renouvellements de véhicules, tandis que les acquisitions de véhicules *diesel* correspondent plus souvent à une augmentation du parc.

⁷ En parallèle, les motorisations « alternatives » (électrique, GPL...) connaissent un léger décollage, passant de 8 000 à 32 000 entre 2008 et 2013, où elles représentent 3,2 % des ventes de véhicules neufs.

les modes utilisés pour les déplacements locaux et à longue distance, marquant une tendance à la spécialisation des modes de transport par gamme de distance. L'hégémonie de la voiture apparaît encore plus importante si on raisonne non plus en nombre de déplacements, mais en distances : en effet, elle est à l'origine d'environ 83 % des distances parcourues en 2008.

Les modes alternatifs à la voiture ont décliné

Pendant des décennies, le corollaire de la diffusion de l'automobile fut le déclin de l'ensemble des modes alternatifs. Ainsi, dans les années 1960, le tramway a disparu dans la plupart des villes françaises (*De Solère, 2012 ; Roux, 2012*). En dépit des efforts des pouvoirs publics pour allouer des financements au développement des transports collectifs et attribuer aux collectivités territoriales des pouvoirs accrus dans ce domaine (versement transport, Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs (LOTI)...), la fréquentation des transports publics ne connaîtra pas de fortes augmentations jusqu'à la fin des années 1990.

De plus, la part de la marche au sein des déplacements quotidiens a reculé de 40 à 27 % entre le début des années 1980 et le début des années 1990, d'après les Enquêtes Ménages Déplacements (*De Solère, 2012*). Les chiffres de l'Enquête Nationale Transport donnent une part modale de la marche plus faible en raison d'un mode divergent de comptabilisation des déplacements piétons, mais suivant la même tendance, avec un recul de 34 à 22 % entre 1982 et 1994. De même, le vélo, autrefois plébiscité par les ouvriers, a été remplacé par la voiture et sa pratique a quasiment disparu dans les agglomérations françaises, en évoluant vers un usage de loisirs (*De Solère, 2012*).

Les vitesses et les distances moyennes de déplacements ont augmenté

Du fait de l'augmentation de la proportion de déplacements réalisés en voiture, la distance et la vitesse moyenne des déplacements ont augmenté, le recours à la voiture permettant de parcourir des distances plus élevées que les modes actifs ou les transports en commun pour un même budget-temps (*Madre et Maffre, 1997 ; Orfeuil, 1999*). Ainsi, la vitesse moyenne des déplacements a progressé de 19,1 à 25 km/h entre 1982 et 1994. De ce fait, la voiture permet un plus grand éloignement entre le domicile et les différents lieux d'activité, dont le lieu de travail. *Hubert et Delisle (2010)* observent qu'entre 1994 et 2008, la distance moyenne des déplacements a augmenté partout où le nombre de déplacements réalisés en voiture a progressé. En raison de la progression des distances de déplacements et compte tenu d'une fréquence moyenne des déplacements quotidiens qui n'a que légèrement diminué, la distance totale par personne parcourue quotidiennement n'a cessé d'augmenter, passant de 17,4 à 25,2 km entre 1982 et 2008 et de 9,1 à 14,6 km pour les seuls déplacements pendulaires, dont la distance a le plus fortement augmenté. Les distances moyennes de déplacements ont augmenté de manière particulièrement importante entre 1982 et 1994, de 5,5 à 7,3 km (*Hubert et Delisle, 2010*).

Le kilométrage annuel moyen par adulte parcouru en voiture a augmenté, tout comme la circulation automobile totale

L'augmentation du parc de voitures particulières a logiquement entraîné une forte croissance de la circulation automobile, qui a progressé de + 2,9 % par an entre 1973 et 2008, celle-ci atteignant même + 4,1 % par an entre 1982 et 1994, d'après les Enquêtes Nationales Transport. En valeur absolue, le trafic automobile, d'après l'enquête *ParcAuto*, a progressé de 220 à 410 G véhicules*km entre 1982 et 2008. En revanche, le kilométrage moyen par voiture a fluctué tout en demeurant globalement stationnaire. Progressant de 11 460 km en 1976 à 13 320 km en 1994, il a ensuite

reculé pour tomber à 12 650 km en 2008. C'est donc surtout l'augmentation du parc de voitures particulières qui semble pouvoir expliquer la croissance de la circulation automobile. Nous reviendrons ultérieurement sur ce point dans la suite de l'exposé, en particulier dans le chapitre II.

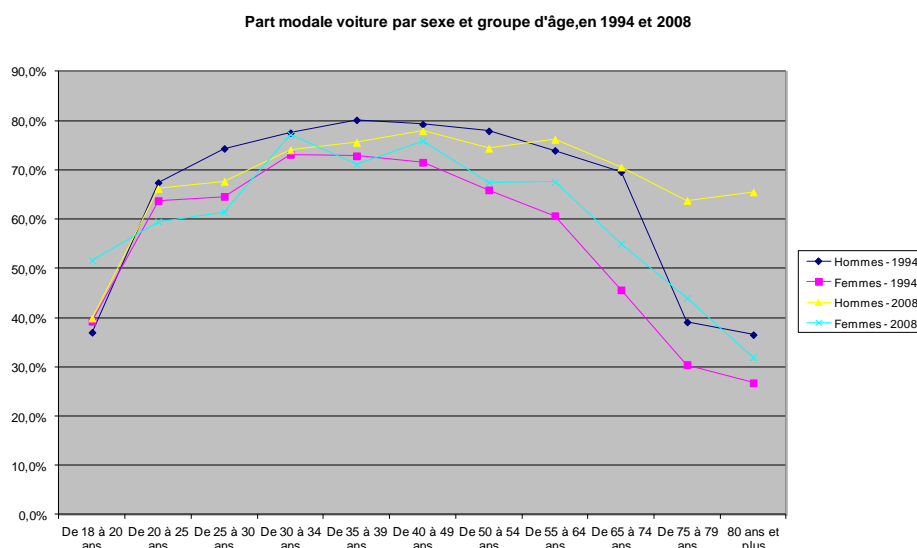
Le multi-équipement entraîne une spécialisation de l'usage des véhicules

La diffusion du multi-équipement entraîne une tendance à la spécialisation de l'usage des véhicules. En effet, le nombre moyen d'usages déclarés par véhicule décroît depuis 1973 (Roux, 2012). Pour les ménages multi-motorisés, la voiture devient un moyen de transport individuel, surtout pour la ou les voiture(s) secondaire(s) tandis que le véhicule principal conserve un usage collectif (Papon et Hivert, 2008), une spécialisation sur laquelle nous reviendrons dans le chapitre III. Cependant, entre 1973 et 1993, le nombre moyen d'usages par véhicule a également reculé pour les ménages mono-motorisés, sans doute en raison d'un accroissement de la proportion de retraités, qui n'effectuent pas de déplacements professionnels. Observons enfin que les véhicules *diesel* tendent à avoir un usage plus polyvalent que les véhicules essence - 2,9 usages contre 2,5 (Roux, 2012) – car ils jouent plus souvent le rôle de voiture principale du ménage.

1.2.c.3) Les déterminants de la mobilité ont évolué

Les comportements se sont homogénéisés au regard des facteurs sociodémographiques

Le processus de diffusion du permis de conduire et de l'automobile qui tendent à devenir des biens de plus en plus « banalisés », s'accompagne d'une homogénéisation des comportements de mobilité au regard des critères sociodémographiques. Ainsi, le nombre moyen de voitures par ménage, tout comme l'usage des véhicules, sont de moins en moins différenciés, tant au regard de l'âge que de la catégorie socioprofessionnelle ou du sexe.



Graphique 5 : Part modale de la voiture au sein des déplacements quotidiens par sexe et groupe d'âge, en 1994 et 2008

Source : Enquêtes Nationales Transport et Déplacements

Les actifs occupés sont les plus mobiles et de plus gros utilisateurs de la voiture, avec environ trois déplacements sur quatre effectués en voiture. Toutefois, Quetelard (2010) montre qu'entre 1994 et 2008, les retraités ont fortement augmenté leur mobilité, tandis que celle des actifs reculait. L'utilisation de la voiture diminue toujours au-delà de 75 ans, mais reste élevée en-deçà, ce qui

s'explique par le vieillissement de la génération du *baby-boom* qui a conservé ses habitudes de conduite passée et remplace les générations antérieures qui utilisaient moins la voiture, en particulier chez les femmes qui n'avaient pas eu un accès aussi large au permis de conduire et à l'utilisation d'un véhicule personnel dans les générations nées avant-guerre. La progression des niveaux d'usage de la voiture provient elle-même de celle des niveaux d'équipement qui manifestent la même tendance à l'homogénéisation, le nombre de véhicules par ménage dont le chef est retraité ayant progressé de 0,51 en 1982 à 0,82 en 1994 puis à 1,00 en 2008 (*Robin, 2010*).

Autre conséquence de l'augmentation des taux d'équipement chez les retraités, les écarts entre actifs et retraités tendent également à se réduire en matière de déplacements à longue distance, avec une progression très forte de l'usage de la voiture chez les 55-75 ans. La mobilité à longue distance des retraités pour motifs personnels a ainsi progressé fortement de 3,3 à 4,6 voyages annuels entre 1994 et 2008, alors qu'elle n'augmentait que de 4,9 à 5,4 voyages annuels chez les actifs. Le niveau d'équipement et l'usage de la voiture chez les retraités tendent donc progressivement à rattraper ceux observés chez les actifs.

En outre, les écarts entre hommes et femmes tendent à se réduire au fil du temps. Ainsi, 76 % des femmes possèdent le permis en 2008 alors qu'elles n'étaient que 64 % en 1994 et 47 % en 1982. Chez les hommes, à l'inverse, la proportion de titulaires du permis n'a progressé que de deux points au cours de la même période, celle-ci ayant déjà atteint un niveau de quasi-saturation. De plus, parmi les femmes disposant du permis, 80 % conduisent régulièrement en 2008 contre 77 % en 1994, tandis que la part des conducteurs réguliers chez les hommes demeure stable à 87 %. Les femmes réalisent désormais un peu plus de déplacements quotidiens que les hommes mais avec des distances moindres, et passent un peu moins de temps qu'eux dans les transports. La distance des déplacements vers le travail chez les femmes est ainsi en moyenne de 12,9 km contre 16,5 km chez les hommes. Cette différence s'explique en partie par les moyens de transport utilisés, les femmes ayant plus souvent recours à la marche et les hommes aux modes de transport motorisés, en particulier la voiture et les deux-roues motorisés. Cependant, la comparaison des enquêtes transport successives montre que les modes de transport sont de plus en plus indifférenciés selon le genre (*Quetelard, 2010*).

En matière de mobilité à longue distance pour motifs professionnels, les écarts entre hommes et femmes se sont également réduits. Si les hommes effectuent globalement plus de voyages à longue distance pour motifs professionnels que les femmes - avec 1,9 contre 0,7 voyages annuels - notamment en raison de la plus forte proportion de femmes inactives et de leur sous-représentation au sein des cadres et professions intellectuelles, cet écart tend toutefois à se réduire : le nombre de voyages professionnels effectués par les femmes a ainsi progressé de 0,3 à 0,7 voyages annuels entre 1994 et 2008, selon la dernière Enquête Nationale Transports (*Grimal, 2010*).

Ces évolutions proviennent d'une part des effets de génération que nous venons de mentionner, qui contribuent à expliquer la forte progression des niveaux d'équipement et d'usage de la voiture chez les femmes retraitées, d'autre part des évolutions contraires des taux d'activité professionnelle chez les hommes et les femmes en âge de travailler, le taux d'activité ayant fortement progressé chez les femmes - de 56 à 67 % pour les femmes âgées de vingt-cinq à soixante-cinq ans entre 1994 et 2008, d'après les Enquêtes Nationales Transport - alors qu'il est demeuré stable chez les hommes, aux alentours de 76 %. Par ailleurs, la mobilité des actifs a aussi évolué de façon contraire entre hommes et femmes. Outre leur participation croissante à l'activité professionnelle, les femmes actives sont en effet elles-mêmes de plus en plus souvent motorisées,

ce qui résulte notamment de la diffusion de la seconde voiture au sein des couples. Celle-ci favorise aussi les déplacements des femmes en voiture pour les motifs d'accompagnement scolaire.

Le revenu exerce une influence tant sur la mobilité quotidienne des ménages que sur leur mobilité à longue distance. Le nombre de déplacements quotidiens augmente légèrement avec le revenu, de 2,6 déplacements quotidiens dans les ménages dont le revenu par unité de consommation est inférieur à 500 € à 3,3 lorsqu'il dépasse 3000 € (*Quetelard, 2010*). Toutefois, l'inégalité est beaucoup plus marquée pour les déplacements automobiles, avec un rapport de 1 à 2,4 entre les revenus les plus bas et les plus élevés. A l'inverse, le recours à la marche à pied et aux transports en commun décroît avec le revenu. Toutefois, quand on les compare aux autres ménages, les plus aisés utilisent un peu moins la voiture et un peu plus la marche et les transports en commun en raison de leur surreprésentation en Ile-de-France.

Les inégalités sociales en matière d'utilisation de la voiture sont issues en partie des difficultés d'accès au permis de conduire pour les plus modestes. Les ouvriers sont la catégorie sociale ayant le plus faible taux de titulaires du permis de conduire, et les ménages appartenant au décile inférieur de revenu par unité de consommation disposent sept fois moins souvent du permis de conduire que ceux qui appartiennent au décile supérieur. L'accès au permis de conduire semble donc représenter encore une contrainte financière difficile à surmonter pour une partie de la population, susceptible de freiner l'accès à l'automobile.

Toutefois, en évolution, le nombre de voitures par ménage progresse chez les ménages dont le chef est ouvrier ou employé, tandis qu'il recule à présent chez les cadres (*Robin, 2010*). Ainsi, le nombre de voitures par ménage recule de 2 à 1,76 entre 1994 et 2008 chez les artisans, commerçants et chefs d'entreprise, et de 1,59 à 1,54 chez les cadres, tandis qu'il progresse de 1,35 à 1,50 chez les ménages dont le chef est ouvrier. De même, les écarts liés au revenu tendent à s'éroder, la mobilité progressant de 2,8 à 2,9 déplacements quotidiens par personne dans le quintile inférieur et reculant de 3,5 à 3,3 dans le quintile supérieur. D'après l'Enquête Nationale Transports, la tendance est donc à l'érosion des inégalités sociales en matière d'auto-mobilité.

Il n'en va pas de même pour la mobilité à longue distance, qui demeure très inégalement répartie entre les couches sociales, ce qui s'explique par le coût élevé des voyages. Ainsi, le nombre de voyages annuels varie de 3,8 à 11,4 entre un ouvrier et un chef d'entreprise, une hiérarchie qui demeure chez les retraités en fonction de leur ancienne catégorie socioprofessionnelle. L'homogénéisation de l'équipement automobile ne permet donc pas de réduire complètement les inégalités en matière de mobilités de loisirs, en particulier à longue distance. Les voyages professionnels sont également de plus en plus concentrés sur les cadres, avec près de sept voyages professionnels par an en 2008 (*Grimal, 2010*).

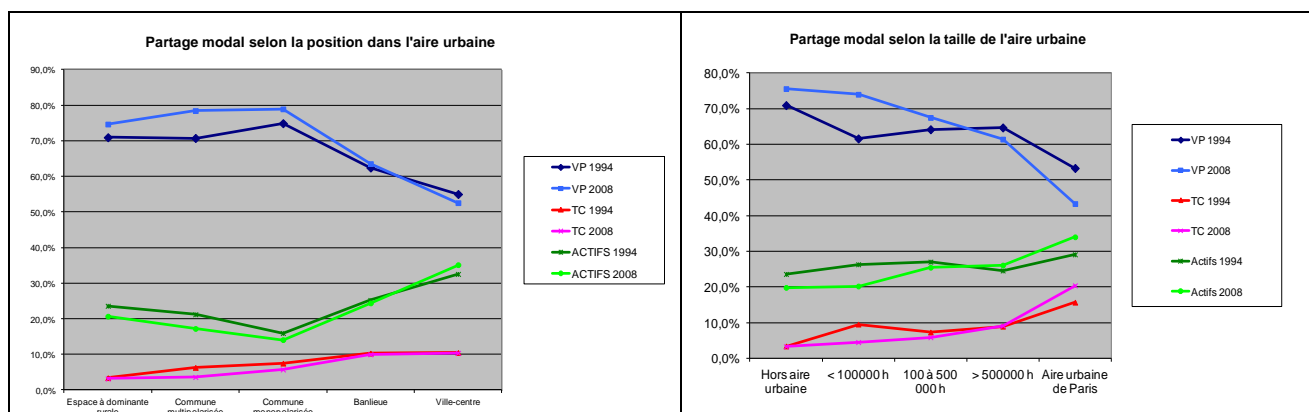
La tendance constatée d'érosion des écarts sociodémographiques en matière d'usage de la voiture entre les deux dernières Enquêtes Nationales Transports - qu'il s'agisse des écarts entre hommes et femmes, entre retraités et actifs, ou encore entre cadres et ouvriers - n'est pas nouvelle mais se situe en fait dans le prolongement des évolutions de la précédente décennie (*Gallez et al., 1997*) et s'explique dans une large mesure par le processus de diffusion de l'automobile, lui-même favorisé par des coûts d'acquisition et d'usage modérés. Ainsi, *Roux (2012)* montre que les déterminants de la motorisation ont évolué entre 1982 et 2008, tant pour la possession du premier véhicule que pour le multi-équipement, l'influence du revenu ayant tendance à décliner, tandis que la structure le nombre d'actifs et le lieu de résidence du ménage jouent des rôles plus importants qu'autrefois.

En particulier, les ménages constitués de deux actifs et résidant dans les zones périurbaines sont de plus en plus souvent multi-équipés.

Les évolutions de long terme des écarts de motorisation et d'usage de la voiture en fonction du niveau de vie peuvent aussi être saisies par le moyen de séries longues issues du recollément des données des *Enquêtes Conjoncture auprès des ménages (ECAM)* et de *ParcAuto* depuis le milieu des années 1970.

Les contrastes territoriaux se sont accentués

Ainsi que le montrent les Enquêtes Nationales Transport, le choix du moyen de transport prioritaire pour les déplacements quotidiens est très corrélé au lieu de résidence, le recours à la voiture étant d'autant plus privilégié que le ménage réside dans une agglomération de petite taille ou habite loin du centre de l'agglomération, où se situent généralement les pôles d'emploi (Quetelard, 2010). De même, les *Enquêtes Déplacements Villes Moyennes (EDVM)*, un type particulier d'enquêtes *standard CERTU* adapté à la connaissance de la mobilité dans les agglomérations comprenant entre vingt-mille (20 000) et cent-mille (100 000) habitants, montrent que le recours à l'automobile y est très important avec une part de marché de la voiture évaluée à 67 % contre 50 % dans les grandes agglomérations. La motorisation des ménages y est aussi nettement supérieure, avec 42 % de ménages multi-équipés contre seulement 29 % dans les grandes agglomérations (Cerea et Merle, 2012).



Graphique 6 : Effets de localisation et partage modal au sein des déplacements quotidiens, en 1994 et 2008

Source : Enquêtes Nationales Transport et Déplacements

A l'inverse, les proportions de déplacements réalisés en transports collectifs et à pied diminuent en fonction de ces mêmes critères (Quetelard, 2010). Par exemple, d'après l'Enquête Nationale Transports, la part de la marche à pied varie de 9 à 34 % en province, entre les communes périurbaines appartenant aux aires urbaines de moins de cent-mille (100 000) habitants, et les villes-centres des pôles urbains des aires urbaines de plus de cent-mille (100 000) habitants. Elle atteint même 46 % à Paris intra-muros. Les chiffres correspondant aux mêmes territoires mais pour la part modale des transports en commun s'élèvent respectivement à 4 %, 10 % et 33 %. C'est dans les secteurs périurbains des petites villes que l'usage de la voiture est le plus élevé et celui de la marche à pied le plus faible. L'usage du vélo est en revanche relativement indépendant des critères de densité, tandis que les deux-roues motorisés ne sont utilisés de manière significative

que dans les zones les plus denses où ils présentent un avantage sur la voiture, en termes de coût mais également de vitesse, de facilité de stationnement et de circulation.

De plus, contrairement à ce qu'on observe pour les écarts sociodémographiques, les contrastes territoriaux se sont renforcés au cours du temps. Roux (2012) observe que c'est surtout à partir du contre-choc pétrolier que le kilométrage moyen par adulte est devenu plus élevé dans les espaces d'urbanisation diffuse, incluant les communes périurbaines et les communes de l'espace à dominante rurale. La disponibilité d'une offre alternative dans les agglomérations a sans doute permis aux habitants des zones urbaines de s'adapter plus facilement aux répercussions des chocs énergétiques, ce qui était plus difficile pour les habitants des espaces d'urbanisation diffuse en raison d'une plus grande captivité à l'égard de l'automobile. Mais en outre, l'essor des motorisations *diesel*, du marché des véhicules d'occasion ainsi que l'élévation du pouvoir d'achat, ont sans doute conduit à différer la nécessité d'une adaptation des comportements dans les zones plus dépendantes de l'automobile.

Plus récemment entre 1994 et 2008, Quetelard (2010) et Hubert (2009) observent des évolutions contrastées entre les grandes agglomérations et le reste de la France. Ainsi, Hubert et Delisle (2010) observent que la mobilité baisse de concert avec les distances et temps de déplacements dans les zones denses (cf. section 1.3), tandis que la mobilité stagne et les distances et temps de déplacements s'allongent dans les zones peu denses. Ainsi, la fréquence moyenne des déplacements quotidiens réalisés en voiture par personne a progressé de 2,8 à 2,9 dans les communes de l'espace à dominante rurale, et de 3,0 à 3,2 dans les communes périurbaines appartenant aux petites aires urbaines. Dans les zones moins denses, la croissance démographique conjuguée à l'augmentation de la mobilité et à l'allongement des déplacements ont entraîné une croissance de 30 % du trafic automobile en l'espace de quinze ans (Quetelard, 2010). D'une manière générale, l'usage de la voiture continue de croître dans les zones périurbaines et rurales ainsi que dans les villes moyennes. Même en Ile-de-France, l'utilisation de la voiture pour les déplacements quotidiens continue de progresser en grande couronne (OMNIL, 2012). En matière de mobilité à longue distance également, on observe un renforcement des contrastes territoriaux entre les deux dernières enquêtes nationales transport. Ainsi, le nombre moyen de voyages à longue distance pour motifs personnels réalisés en voiture par personne et par an a progressé plus modérément dans les pôles urbains - de 3,6 à 3,9 - que dans les couronnes périurbaines - de 3,6 à 4,2 - et dans les territoires ruraux - de 2,7 à 3,8.

Comme pour l'évolution des inégalités sociales, ces évolutions divergentes sont corrélées à celles des niveaux d'équipement automobile, avec des écarts qui se renforcent au cours du temps entre les zones denses et les zones d'urbanisation diffuse. Le nombre de voitures par ménage a ainsi progressé entre 1994 et 2008 pour atteindre 1,7 dans les communes périurbaines appartenant aux petites aires urbaines de province, tandis qu'il chute à seulement 0,5 voiture par ménage à Paris.

Ces évolutions contraires se répercutent sur les parts modales. Tandis que la part de la voiture baissait dans les villes-centres des grandes agglomérations au profit des transports en commun et des modes actifs (cf. section 1.3), elle continuait d'augmenter sur le reste du territoire, où les trois quarts des déplacements se font désormais en voiture contre moins des deux tiers dans les grandes aires urbaines. Elle progressait ainsi de 75 à 78 % dans les couronnes périurbaines et de 67 à 70 % pour les banlieues des grandes agglomérations, et même de 79 à 85 % dans les couronnes périurbaines des villes moyennes.

De plus, la longueur moyenne des déplacements augmente davantage pour les déplacements ayant pour origine ou destination les couronnes périurbaines que pour les autres déplacements. Ainsi, les kilométrages parcourus y ont augmenté de plus de 50 % au cours de la dernière décennie, et la durée moyenne de déplacement y a augmenté de 16%, alors qu'elle demeure stable sur le territoire national. Ces résultats suggèrent à nouveau que les habitants des zones périurbaines ne sont plus en mesure de maîtriser les temps des déplacements liés au travail, en raison d'une déconnexion croissante entre les lieux de résidence et les lieux d'emploi. La forte augmentation de l'utilisation de la voiture dans les zones moins denses est susceptible de s'expliquer par une reprise de la périurbanisation dans les années 2000 après un ralentissement dans les années 1990, avec une croissance démographique moyenne de + 1,3 % par an entre 1999 et 2006 dans les secteurs périurbains contre + 1 % pendant la décennie précédente (*Françoise et Guilloux, 2012*). En outre, la distance moyenne des constructions neuves au centre de l'agglomération repart à la hausse au cours des années 2000, après avoir diminué dans les années 1990 (*source : MEDDTL/CGDD*). Cependant, cette accélération de la périurbanisation est susceptible d'être en partie subie plutôt que choisie, en raison de la forte hausse des prix de l'immobilier dans les années 2000, qui induit un effet d'éviction des couches moyennes.

Les habitants des espaces peu denses, bénéficiant de taux de motorisation plus élevés et de meilleures conditions de circulation, se déplacent plus vite que les habitants des zones denses. Ainsi, le temps quotidien de transport est inférieur à cinquante (50) mn dans l'espace à dominante rurale et les communes périurbaines, en dépit de distances très élevées, proches de trente (30) km par jour. A l'inverse, les Parisiens, bien que parcourant les distances les plus faibles, se déplacent aussi le plus lentement et consacrent le plus de temps à se déplacer avec soixante-quinze (75) minutes par jour (*Armoogum et al., 2010*). Les espaces où la mobilité baisse sont également en général ceux dont les résidents ont les temps de transport les plus élevés (*Hubert et Delisle, 2010*), ce qui suggère que la réduction du nombre de déplacements et en particulier du nombre de déplacements automobiles pourrait correspondre, au moins pour partie, à une stratégie de maîtrise du temps que les individus consacrent à leurs déplacements dans les grandes agglomérations.

A l'issue de ces analyses, l'image qui se forme est celle de dynamiques contraires entre les espaces densément urbanisés et les espaces d'urbanisation plus diffuse, conduisant à une accentuation des contrastes entre ces territoires (*Grimal, 2012 ; Françoise et Guilloux, 2012 ; Grimal, 2013*). Cette évolution suggère une rupture ou du moins une inflexion des comportements dans les espaces disposant d'alternatives efficaces à la voiture (*cf. section 1.3*), qui a dû se produire dans le cours de la décennie 2000, et une poursuite des tendances antérieures dans les espaces d'urbanisation diffuse. L'augmentation des contrastes territoriaux en matière de mobilité entre les grandes agglomérations et le reste du territoire est susceptible de recevoir diverses interprétations :

- On pourrait tout d'abord émettre l'idée que les modes de vie seraient de plus en plus contrastés en fonction de l'environnement construit du lieu de résidence, de l'âge et de la position dans le cycle de vie, ainsi que de préférences hétérogènes en matière de styles de vie - opposition entre des modes de vie plus urbains et mobiles et des modes de vie sédentaires et enracinés, par exemple. Les contrastes de mobilité reflètent en partie, dans ce cas, un processus d'auto-sélection des résidents des différents territoires ;
- Une autre interprétation repose sur une compréhension dynamique des processus économiques, incluant le processus de diffusion à long terme de l'automobile - saturation plus précoce dans les territoires où la voiture s'est diffusée plus tôt et à des niveaux décroissants en fonction de la densité - et les effets d'un choc économique – en particulier

l'augmentation des prix des carburants - se déclinant de manière différenciée selon le degré de dépendance automobile des résidents. L'analyse des dynamiques de mobilité selon le lieu de résidence confirme l'importance croissante des effets de localisation sur la dépendance automobile des habitants et le rôle de l'organisation spatiale des métropoles comme vecteur de la maîtrise des déplacements et de leurs impacts environnementaux (*Newman and Kenworthy, 1989 ; Dupuy, 1999*), un constat qui est au cœur des politiques coordonnées d'urbanisation et de déplacements durables conduites depuis maintenant deux décennies dans les métropoles des pays développés.

Toutefois, le renforcement des contrastes de mobilité entre les espaces denses et les espaces peu denses n'est pas une tendance nouvelle, mais semble au contraire se poursuivre depuis plusieurs décennies (*Gallez et al., 1997*). L'évolution contrastée des niveaux d'équipement, et en particulier de la proportion de ménages multi-équipés, explique en partie celle du partage modal ainsi que des distances et vitesses de déplacements, une proportion croissante d'individus utilisant la voiture pour se déplacer. L'évolution du multi-équipement est elle-même corrélée à la proportion de familles s'installant sur le territoire, la taille moyenne des ménages ayant évolué de manière différenciée entre les agglomérations et les communes périurbaines. Les couples avec enfants, notamment, sont surreprésentés dans les territoires périurbains. La seconde voiture du ménage, en particulier, est devenue un instrument d'autonomie des femmes dans un contexte de dépendance automobile renforcée. Les enfants majeurs poursuivant leurs études tout en résidant au foyer parental, éprouvent eux-mêmes de plus en plus la nécessité de disposer de leur propre voiture.

Les lignes de clivage des comportements de mobilité se déplacent

L'homogénéisation des niveaux d'équipement automobile et d'usage de la voiture au regard des critères sociodémographiques est donc compensée par un renforcement des contrastes territoriaux. En fait, les déterminants des mobilités évoluent, conduisant à un déplacement des lignes de clivage entre les comportements des ménages. Ces derniers sont désormais moins déterminés par le niveau de vie du ménage ou par la génération et le sexe du chef de ménage, et davantage par le lieu de résidence, le type de ménage et le nombre d'actifs qu'il comporte, la proportion de ménages multi-équipés étant notamment dépendante de ces critères.

En dépit de l'érosion des écarts d'usage de la voiture en fonction du revenu, il serait également hâtif de conclure à une disparition des inégalités. Tout en se réduisant globalement, celles-ci tendent à se déplacer du mono-équipement vers le multi-équipement, qui demeure hétérogène selon le niveau de vie et la zone de résidence. Observons tout d'abord que même le fait pour un ménage de disposer d'au moins une voiture particulière n'est pas totalement homogénéisé. Ainsi, 40,4 % des ménages appartenant au quintile inférieur de revenu par unité de consommation ne sont pas motorisés, contre seulement 8,2 % dans le quintile supérieur, d'après l'Enquête Nationale Transports de 2008. A l'inverse, la proportion de ménages multi-équipés varie de 14,4 à 48,2 % entre le quintile inférieur et le quintile supérieur. Ces inégalités subsistent même lorsqu'on corrige l'effet de taille des ménages. Ainsi, parmi les ménages comprenant deux adultes et n'ayant pas d'enfants, la proportion de ménages non-motorisés décroît de 22,8 % dans le quintile inférieur à 4,4 % dans le quintile supérieur, tandis que la proportion de ménages multi-motorisés progresse de 17,7 % à 60,9 %. La correction de l'effet-taille tend donc à réduire les inégalités sociales au regard de la proportion de ménages motorisés mais à les accentuer au regard de la proportion de ménages multi-motorisés.

Par conséquent, l'accès au multi-équipement demeure fortement différencié selon le niveau de vie. Si les inégalités tendent à se réduire pour ce qui concerne la proportion de ménages motorisés, elles s'accroissent nettement au regard de la proportion de ménages multi-équipés, qui progresse beaucoup plus rapidement dans le quintile supérieur - de 29,7 à 48,2 % - que dans le quintile inférieur - de 8,5 à 14,4 %. Il est vraisemblable, ainsi que nous le verrons à partir de l'analyse des seuils de saturation dans la diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel, que le potentiel de mobilité conserve à l'avenir un certain degré d'hétérogénéité, attestant d'entraves persistantes qu'il ne sera pas possible de supprimer entièrement, mais également dans certains cas de l'absence de nécessité. La diffusion du multi-équipement, plus rapide dans le quintile supérieur, suggère toutefois que la seconde voiture ne constitue pas encore un bien courant, dont la diffusion serait largement inachevée et encore dans une phase intermédiaire, ce qui se traduit au moins temporairement par une augmentation des inégalités.

On observe les mêmes tendances au déplacement des inégalités dans les nouvelles générations, plutôt qu'une augmentation des inégalités en comparaison des générations précédentes. Ainsi en 2008, la proportion de ménages non-motorisés dont la personne de référence avait entre 18 et 25 ans variait de 52,1 % à 22,7 % entre le quartile inférieur et le quartile supérieur de revenu par unité de consommation d'après l'ENTD, tandis que les mêmes chiffres s'élevaient à 59,4 et 14,8 % en 1994. Cependant, la proportion de ménages multi-motorisés n'a progressé que de 4,6 à 7,2 % dans le quartile inférieur, alors qu'elle a augmenté de 23,3 à 40,7 % dans le quartile supérieur. Comme pour l'ensemble des ménages, les inégalités chez les jeunes adultes se sont donc réduites au regard du mono-équipement, mais se sont accentuées au regard du multi-équipement, en raison d'une croissance nettement plus rapide du multi-équipement chez les plus aisés. Ces résultats suggèrent un déplacement des inégalités sociales vers le multi-équipement qui n'est pas spécifique aux nouvelles générations mais commun à l'ensemble de la population, davantage qu'une accentuation des inégalités sociales d'accès à l'automobile dans les nouvelles générations par rapport aux précédentes.

L'accès à l'automobile joue un rôle fondamental pour expliquer le niveau de mobilité totale d'un ménage. De fait, l'absence d'accès à l'automobile demeure un handicap limitant le potentiel de mobilité, ce qui se traduit par une mobilité totale plus faible chez les individus ne disposant pas du permis de conduire et/ou de l'accès à un véhicule personnel. De ce fait, la tendance à l'homogénéisation de l'accès à l'automobile entraîne également une réduction des écarts de mobilité, à l'exception des mobilités à longue distance qui demeurent très corrélées au niveau de vie et au statut professionnel. Par conséquent, les mobilités se différencient désormais davantage par les modes de transport utilisés que par les fréquences de déplacement. Les lignes de clivage deviennent donc qualitatives plutôt que quantitatives, avec un contraste croissant entre des mobilités périurbaines et rurales pour lesquelles la voiture est hégémonique, et des mobilités urbaines plus multimodales, constituées pour moitié de déplacements par les modes actifs et les transports en commun (*Grimal, 2013*).

L'opposition de forme des mobilités apparaît très étroitement liée à la force des contraintes qui structurent la mobilité quotidienne. Du côté des mobilités multimodales, on trouve soit des personnes dont le potentiel de mobilité est réduit en raison d'un accès restreint à la conduite, de handicaps ou de ressources financières insuffisantes, soit des personnes faiblement dépendantes à l'automobile en raison de leur programme d'activités ou de leur lieu de résidence. A l'inverse, du côté des mobilités fortement motorisées, on trouve les personnes ayant de fortes contraintes professionnelles, familiales ou spatiales (*Grimal, 2013*). La voiture apparaît donc comme le moyen

privilegié de concilier diverses contraintes, dans la mesure où elle est plus flexible et permet de limiter le budget-temps de transport dans le cas où les personnes doivent enchaîner un grand nombre de déplacements quotidiens, ce qui est en particulier le cas des femmes qui doivent concilier les déplacements vers le travail avec les déplacements d'accompagnement scolaire. Cette évolution semble indiquer une rationalisation de l'usage de la voiture, les cas d'usage intensif se recentrant sur des situations caractérisées par de fortes contraintes, tandis que les modes alternatifs sont utilisés là où ils sont les plus efficaces.

1.3) Depuis le tournant du millénaire, une inflexion significative des comportements de mobilité

Depuis le tournant du millénaire, les signes d'une inflexion notoire des comportements de mobilité se sont toutefois multipliés. Tout d'abord, les enquêtes de mobilité de type « standard CERTU » ont mis en évidence, pour la première fois, un recul du nombre de déplacements quotidiens en voiture dans les grandes agglomérations françaises, tandis qu'à l'inverse, l'ensemble des moyens de transport alternatifs, de la marche aux deux-roues motorisés, semblent connaître un renouveau.

Cependant, les enquêtes ménages ne permettent de disposer d'une image des évolutions de la mobilité que dans les agglomérations, où sont réalisées la plupart des EMD, même si un nombre croissant d'enquêtes ménages couvrent désormais les territoires de moindre densité, telles que les *Enquêtes Déplacements Villes Moyennes (EDVM)* ainsi que les *Enquêtes Déplacements Grands Territoires (EDGT)*. L'Enquête Nationale Transports permet de compléter cette image et suggère la poursuite de dynamiques apparemment contrastées selon les territoires, se situant dans le prolongement des tendances passées et mises en évidence dans la section précédente. La mobilité automobile, en effet, aurait continué de croître dans les petites agglomérations, l'espace rural et les communes périurbaines (Hubert, 2009 ; Grimal, 2010 ; Françoise et Guilloux, 2012 ; Grimal, 2012). Au terme de cette analyse, l'inflexion des comportements aurait donc été circonscrite aux espaces les plus densément urbanisés, tandis que l'usage de la voiture aurait poursuivi sa trajectoire de croissance antérieure dans les espaces peu denses. Néanmoins, il s'agit là en partie d'un effet de perspective, lié à un inconvénient majeur des enquêtes nationales transport, qui sont conduites à des intervalles souvent éloignés dans le temps, et ne permettent pas de produire des données couvrant les périodes intermédiaires - même si des réflexions sont en cours afin de concevoir un dispositif d'enquête en continu sur le modèle de l'Enquête Transport britannique ou du panel de mobilité allemand.

Le panel *ParcAuto*, au contraire, permet de suivre en continu l'évolution du parc de véhicules à disposition des ménages et de leur usage. Or, les résultats de l'exploitation de *ParcAuto* permettent de se convaincre qu'une inflexion notoire de l'usage de la voiture est survenue dans l'ensemble des territoires. En particulier, les statistiques nationales de trafic font état d'un plafonnement de la circulation automobile totale en même temps que du kilométrage moyen par adulte depuis 2003, après des décennies de croissance ininterrompue, quoi qu'à des niveaux et selon des temporalités variables selon le lieu de résidence.

Dans un premier temps, cette évolution a suscité le doute dans la mesure où elle allait à l'encontre à la fois de l'expérience et des anticipations de croissance continue de la demande observées jusqu'alors. Millard-Ball et Schipper (2010) soulignent que les tendances du secteur du transport – posséder plus de véhicules, posséder des véhicules plus gros et plus puissants, conduire plus – ont longtemps semblé inexorables, et qu'elles se sont poursuivies continûment, à l'exception du choc pétrolier des années 70. En outre, jusqu'à présent, la voiture s'était toujours substituée aux autres

modes de transports urbains, une évolution favorisée par la diffusion du permis de conduire au fil des générations - notamment chez les femmes - une urbanisation de plus en plus diffuse, des prix du carburant modérés, l'élévation générale du niveau de vie et des prix d'achat en baisse grâce au développement du marché de seconde main. Les agglomérations où ces nouveaux comportements ont été observés pour la première fois sont en outre dynamiques sur un plan économique et démographique, ce qui va à l'encontre de la relation généralement admise entre l'activité du transport et la croissance économique. Il semblait donc tentant, dans ce contexte, de supposer que les observations résultaient soit d'une configuration particulière à ces agglomérations, soit de biais méthodologiques : échantillonnage, omission de certains déplacements, etc.

Néanmoins, l'accumulation d'observations répétées issues des EMD menées dans un grand nombre d'agglomérations françaises, par exemple à Strasbourg, sur la Côte d'Azur et à Grenoble, ainsi que les données de trafic nationales et internationales, ne permettent plus de considérer cette inflexion comme un simple *artefact* méthodologique, mais suggèrent bien des modifications dans les comportements de mobilité, que celles-ci présentent un caractère temporaire ou au contraire pérenne, une question qui sera abordée dans la section II.2.a.7.

1.3.a) Un ralentissement dans la croissance des distances et vitesses de déplacements

1.3.a.1) Les distances et les vitesses des déplacements quotidiens se stabilisent

Certains signes d'une inflexion des comportements de mobilité ressortent déjà des enquêtes nationales transport, en particulier pour ce qui concerne les distances et les vitesses des déplacements quotidiens, dont la progression a nettement ralenti entre les deux dernières enquêtes, en comparaison des précédentes. Ainsi, la longueur moyenne des déplacements quotidiens ne s'est accrue que de 7,3 à 8,1 km entre 1994 et 2008 (*Hubert et Delisle, 2010*), soit une progression de + 10 %, après avoir augmenté de + 40 % entre les deux enquêtes précédentes. Etant donné que le nombre moyen de déplacements est stable, ce ralentissement se répercute sur l'évolution de la distance quotidienne parcourue par personne, qui n'a progressé que de 23,1 à 25,2 km, soit une progression totale de + 9 % et + 0,7 % par an en moyenne, contre + 33 % et + 2,3 % annuels entre 1982 et 1994. Le ralentissement de la croissance de la distance moyenne de déplacement s'explique lui-même par celui de la vitesse moyenne de déplacement, qui n'a progressé que de 6 % entre 1994 et 2008, passant de 25 à 26,8 km/h. Or, celui-ci provient lui-même de la part modale de la voiture, qui tend à se stabiliser entre les deux dernières enquêtes nationales transport, ne progressant que très légèrement, de 63 à 65 % (*Quetelard, 2010*).

Tout comme la progression de la distance et de la vitesse moyenne de déplacement entre les précédentes enquêtes s'expliquait par l'augmentation de la part modale de la voiture, le ralentissement actuel s'explique donc de même par une tendance à la stabilisation de cette part modale. Compte tenu de la relation de causalité circulaire entre le choix modal et la distance des déplacements quotidiens, que nous avons déjà relevée, le ralentissement conjoint de ces indicateurs est susceptible de recouvrir deux phénomènes opposés :

- D'une part, le plafonnement de la part modale de la voiture entraîne un ralentissement des vitesses et des distances moyennes de déplacements ;
- D'autre part, les tendances à la ré-urbanisation observées depuis la fin des années 1990, combinées avec le desserrement spatial des emplois et des services, exercent une influence modératrice sur l'augmentation des distances de déplacements, contribuant à stabiliser la part modale de la voiture.

Cependant, la part modale de la voiture est également susceptible d'évoluer sous l'influence d'autres facteurs :

- D'une part, elle dépend du processus de diffusion de l'automobile, qui transforme le mode d'expression des besoins de déplacements, processus dont on peut supposer qu'il admet certaines limites. En cas d'approche de la saturation dans la diffusion de l'automobile, la proportion d'individus utilisant la voiture pour leurs déplacements quotidiens aura tendance à ralentir, et donc aussi la part modale de la voiture ;
- D'autre part, elle dépend des contraintes financières associées à l'usage de la voiture, qui fluctuent au cours du temps, en fonction du niveau de vie des ménages et du coût d'usage des véhicules. Lorsque ce dernier décroît, la part modale de la voiture au sein des déplacements quotidiens tendra à augmenter, pour un même niveau de diffusion de l'automobile ; et inversement, en cas d'augmentation du coût d'usage des véhicules, elle tendra à décroître, les ménages adoptant alors des comportements plus multimodaux en vue de maîtriser leurs dépenses de transport.

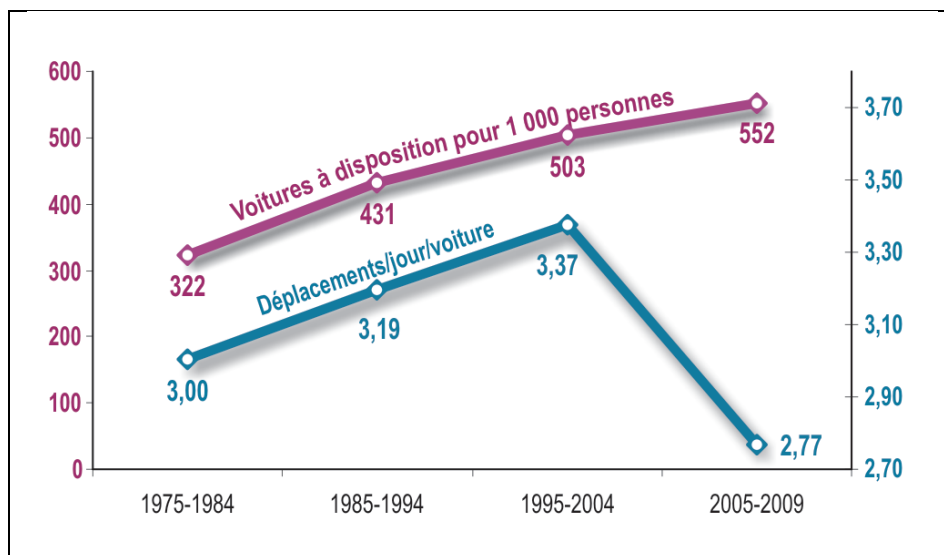
1.3.a.2) La fréquence des déplacements à longue distance ralentit sa progression

Parallèlement, la mobilité à longue distance ralentit sa progression. Les Français ont effectué 358 millions de voyages à longue distance en 2008 contre 293 millions en 1994, soit une progression totale de 22,2 % et 1,5 % annuels, imputable pour partie à la croissance démographique – à hauteur de + 5,7 % - et pour partie à la croissance de la mobilité individuelle, la mobilité à longue distance progressant de 5,5 à 6,4 voyages annuels par personne au cours de la même période, soit une progression totale de + 15,4 %. La croissance observée est nettement inférieure à celle de la période précédente, au cours de laquelle le volume total des voyages à longue distance et la mobilité à longue distance avaient respectivement progressé de + 4,2 % et + 3,6 % par an en moyenne.

1.3.b) Les transitions des mobilités dans les zones densément urbanisées

1.3.b.1) Pour la première fois depuis la guerre, la fréquence des déplacements quotidiens réalisés en voiture recule dans les grandes agglomérations...

Les premiers signes d'une inflexion des comportements de mobilité au cours de la décennie 2000 sont apparus au travers des résultats des EMD réalisées dans les grandes agglomérations françaises, qui mettent en évidence, pour la première fois depuis la fin de la seconde guerre mondiale, une stagnation, voire un déclin de la mobilité quotidienne. En effet, à partir de données consolidées basées sur la compilation de l'ensemble des enquêtes ménages déplacements de type « *standard CERTU* », il est possible d'estimer des indicateurs de mobilité en années glissantes. Ainsi, *Quetelard (2012)* observe qu'un changement se produit vers 2005 : le nombre moyen de déplacements quotidiens par personne dans les grandes agglomérations françaises, après avoir progressé de 3,19 au cours de la période 1975-84 à 3,33 pendant la période 1985-94, a atteint un pic à 3,69 pour la période 1995-2004, avant de décroître légèrement pour atteindre 3,62 dans la période 2005-2009. Même si les évolutions de la mobilité quotidienne sont disparates selon les agglomérations - de fortes baisses sont observées à Strasbourg ainsi que sur la Côte d'Azur et à Grenoble, tandis que la mobilité est stable à Bordeaux, à Rouen, à Reims et sur la Côte Basque – on observe dans l'ensemble une baisse de la mobilité quotidienne.



Graphique 7 : Evolution du nombre de voitures par personne et de la mobilité en voiture dans les agglomérations françaises (EMD standard CERTU)

Source : Enquêtes Ménages Déplacements standard CERTU, in « La mobilité urbaine en France – enseignements des années 2000-2010 », CERTU.

Celle-ci s'explique surtout par la fréquence des déplacements en voiture qui recule fortement, et dont l'usage n'a pas été entièrement compensé par un recours accru aux autres modes, ce qui s'est traduit par une perte nette de mobilité. Ainsi, la mobilité en voiture a progressé de 3,0 déplacements quotidiens par personne pendant la période 1975-84 à 3,37 au cours de la période 1995-2004, avant de décroître ensuite pour atteindre 2,77 dans la période 2005-09 (*De Solère, 2012*). De même d'après les Enquêtes Nationales Transport, qui permettent de produire des indicateurs par grands types de territoires, la mobilité en voiture se stabilise dans les agglomérations et recule même à Paris. Dans les grandes agglomérations, les actifs et les étudiants se déplacent moins souvent et moins longtemps que par le passé : en particulier, ils sont plus nombreux à n'aller qu'une fois sur leur lieu de travail au cours de la journée (*Hubert, 2009*). Ces données suggèrent donc une évolution en deux étapes, caractérisée par une progression de l'usage de la voiture qui se poursuit jusque vers le milieu des années 2000 dans les agglomérations, suivie d'un déclin ultérieur.

Toutefois, cette « inflexion » des comportements est en partie masquée par la périodicité des ENTD qui ne couvrent que deux périodes très éloignées dans le temps, et les Enquêtes Nationales Transport, tout en mettant en évidence des signes de ralentissement, ne sont pas les plus adaptées pour caractériser les évolutions de la période intermédiaire entre les deux dernières enquêtes, qui sont mieux saisies au travers des Enquêtes Ménages Déplacements et du panel *TNS-SOFRES* sur le parc automobile et son usage (*ParcAuto*), qui permettent un suivi des comportements en continu.

Or, toutes les EMD soulignent une inflexion des comportements qui se situerait vers le milieu de la décennie 2000. Ainsi en 2006, les EMD de Lyon et de Lille révèlent pour la première fois une baisse de la mobilité quotidienne totale ainsi que de la mobilité en voiture (*Guidez et al., 2007*), de respectivement – 7 et – 5 % entre les périodes 1990-99 et 2000-06, dans des agglomérations pourtant dynamiques au plan économique et démographique. Dans la communauté urbaine de Lille par exemple, la mobilité quotidienne en voiture, après avoir progressé de 1,90 à 2,38 déplacements par jour entre 1987 et 1998, est retombée à 2,11 en 2006 (*De Solère, 2012*). La baisse de la mobilité totale et automobile n'est toutefois pas restreinte à ces deux agglomérations,

mais peut être constatée dans un grand nombre de villes françaises, par exemple dans les agglomérations de Strasbourg, de Grenoble ainsi que sur la Côte d'Azur.

Dans l'agglomération de Strasbourg, la mobilité tous modes diminue de 4,5 à 3,9 déplacements quotidiens par personne entre 1997 et 2009, soit un recul de - 14,6 %, retrouvant quasiment son niveau de 4,0 déplacements quotidiens par personne enregistré en 1988 (*ADEUS, 2010*). Des évolutions analogues sont constatées à Rennes, à Grenoble ainsi que sur la Côte d'Azur (*Quetelard, 2011 ; De Solère, 2012*). D'après l'EMD de la région grenobloise, la mobilité tous modes a chuté de 4,0 à 3,7 entre 2002 et 2010, et la mobilité en voiture de 2,3 à 1,8 (*SMTC, 2010*). De même d'après l'EMD des Alpes-Maritimes, la mobilité tous modes a baissé de 3,9 à 3,4 entre 1998 et 2009. Plus récemment, l'enquête sur l'agglomération toulousaine réalisée en 2013 montre une mobilité totale en baisse de 4,1 déplacements quotidiens à 3,8 entre 2004 et 2013, et de la mobilité en voiture de - 14 %, de 2,7 à 2,3 déplacements quotidiens par personne (*Tisseo, 2013*).

Enfin, en Ile-de-France, d'après *l'Enquête Globale Transports*, l'utilisation de la voiture stagne entre 2001 et 2009 avec une croissance de seulement + 0,6 % suivant une forte progression de + 7,5 % entre 1991 et 2001, dans un contexte d'augmentation de la mobilité totale. De plus, la mobilité en voiture aurait décliné globalement de 1,54 à 1,46 déplacements quotidiens par personne entre 2001 et 2010 pour l'ensemble de l'Ile-de-France (*STIF, 2012*). Ce recul est imputable surtout à l'effondrement des déplacements en voiture des parisiens, qui ont chuté de plus d'un tiers (- 35%), tandis que leur croissance est encore de + 6 % en dehors de Paris (*STIF, 2012*). Le recul de la mobilité en voiture a commencé dès les années 1990 pour les parisiens et s'est accentué depuis le début des années 2000, tout en s'étendant à la proche couronne. Ces résultats sont renforcés par les données de trafic automobile sur les voies rapides urbaines (*OMNIL, 2012 ; STIF, 2012 ; IAURIF, 2013*). Après une forte hausse du trafic automobile dans les années 1980 (plus de 3 % par an), la croissance du trafic routier a commencé de ralentir dans les années 1990 (+ 1,4 % par an), notamment sur les radiales de petite couronne. Au cours des dix dernières années, le trafic s'est stabilisé sur l'ensemble des voies rapides et a même baissé sur les radiales de petite couronne (- 6 % entre 2001 et 2010) et surtout dans Paris (-23,4%), seul le trafic de la Francilienne continuant de progresser (*IAURIF, 2013 ; source : DRIEA, Ville de Paris*).

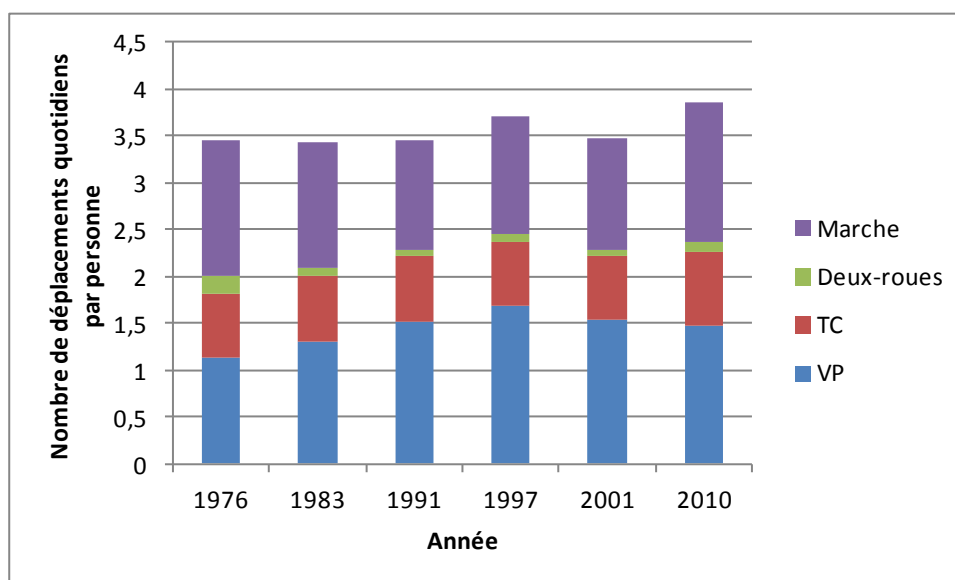
Ces évolutions se répercutent sur les parts modales, celle de la voiture déclinant au profit des modes alternatifs dans les zones urbaines les plus denses. Ainsi à Lyon par exemple, la part modale de la voiture passe sous les 50 % en 2006. Dans la *Communauté Urbaine de Lille*, la part de la voiture a progressé de 55 à 59 % entre 1987 et 1998, avant de retomber à 56 % en 2006. Dans l'agglomération de Strasbourg, après avoir augmenté de 50 à 53 % entre 1988 et 1997, elle a reculé pour atteindre 46 % en 2009. Dans l'agglomération grenobloise, elle a reculé de 54 % à 47 % entre 1992 en 2010 (*SMTC, 2010*). D'après l'EMD des Alpes-Maritimes, elle décroît de 57 à 53 % entre 1998 et 2009. Enfin, dans l'agglomération toulousaine, elle se replie de 62 à 56 % entre 2004 et 2013, après une période de quasi-stabilité entre 1990 et 2004.

1.3.b.2) ...Au profit des modes « alternatifs », qui connaissent un regain d'attractivité

A l'inverse de la voiture, l'ensemble des modes alternatifs à la voiture semblent connaître un regain d'attractivité au cours de la même période. On observe ainsi un retour en grâce des transports collectifs urbains (TCU) et des modes actifs – marche à pied et vélo – dans les grandes agglomérations françaises (*Quetelard, 2011 ; De Solère, 2012*).

Le renouveau des transports en commun

Roux (2012) et De Solère (2012) observent par exemple que le tramway revient en force dans la décennie 2000, où il apparaît comme une réponse tant aux enjeux de dépendance énergétique dans un contexte d'augmentation des prix des carburants que de lutte contre le changement climatique. Le retour en grâce des transports publics est accompagné par des mesures visant à limiter la place de la voiture en ville, à travers la restriction de la circulation et du stationnement ou la modération des vitesses. Les investissements consentis dans l'offre de transports urbains s'avèrent payants compte tenu du contexte, dans la mesure où ils sont accompagnés d'une hausse de la fréquentation des transports collectifs urbains. Entre 1999 et 2009, la fréquentation des TCU - exprimée en voyages/habitant desservi - progresse ainsi de 30 % dans les réseaux urbains couvrant une population de plus de 250 000 habitants (source : UTP, base TCU DGITM/CERTU/GART/UTP), tandis qu'elle stagne dans les agglomérations de plus petite taille. En parallèle, le trafic supporté sur les réseaux ferroviaires régionaux progresse de + 50 % entre 2000 et 2010 (source : CCTN) grâce à la modernisation de l'offre ferroviaire régionale ayant suivi la régionalisation des transports ferroviaires de 2002.



Graphique 8 : Evolution de la mobilité quotidienne par modes en Ile-de-France

Source : Enquêtes Globales Transport 1976, 1983, 1991, 1997, 2001 et 2010

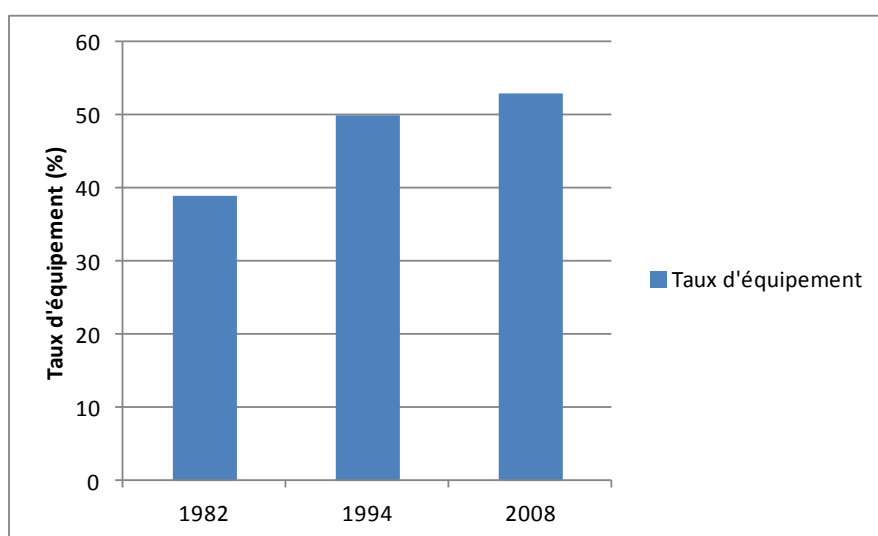
En Ile-de-France, le volume total de déplacements réalisés en transports en commun a augmenté de 6,8 à 8,3 millions entre les deux dernières EGT réalisées respectivement en 2001 et 2009-11, soit une croissance de + 21 %, contre seulement + 2,4 % entre 1991 et 2001. De plus, la mobilité en transports urbains s'est élevée de 0,7 à 0,8 déplacements quotidiens par personne, et les motifs d'usage des transports en commun se sont diversifiés, les déplacements s'effectuant désormais davantage pour motifs de loisirs et non plus uniquement pour les déplacements vers le travail. Cette progression est surtout sensible pour les habitants de Paris. Ces tendances sont confirmées par les données billettiques de fréquentation issues des opérateurs pour les réseaux de métro, RER, train, bus et tramway, d'après les comptages RATP/SNCF/OPTILE (OMNIL, 2012 ; STIF, 2012).

Les enquêtes ménages déplacements « standard CERTU » mettent également en évidence un retour de l'usage des transports en commun dans un certain nombre de grandes agglomérations

françaises en dehors de Paris. Dans l'agglomération de Grenoble, les déplacements en transports en commun progressent de + 13 % entre 2002 et 2010 (*SMTC, 2010*). Dans le cœur de l'agglomération toulousaine, la mobilité en transports en commun progresse de + 40 % entre 2004 et 2013 (*Tisseo, 2013*). Cependant, la « culture de mobilité » des agglomérations joue un rôle dans le degré de développement de l'offre et de la fréquentation des transports collectifs. Ainsi à Bordeaux, en dépit d'investissements considérables et d'une forte augmentation de la clientèle, la part modale des transports collectifs urbains demeure faible, autour de 8 % en 2009 contre 15 % à Lyon ou Grenoble.

L'augmentation de la mobilité en transports en commun se répercute sur le partage modal. Dans l'agglomération nantaise, la part des transports en commun pour les déplacements en semaine progresse de 14 à 15 % entre 2002 et 2009 (*Seguin et al., 2010*). Dans l'agglomération de Strasbourg, elle augmente de 7 à 9 % entre 1988 et 1997, puis encore de 9 à 13 % entre 1997 et 2009, une hausse principalement liée à la mise en service du tramway (*ADEUS, 2010*). Sur la Côte d'Azur, elle s'élève de 6 à 8 % entre 1998 et 2009. Dans le cœur de l'agglomération toulousaine, elle croît de 8 à 13 % entre 2004 et 2013, notamment grâce au développement de l'offre sur l'ensemble de l'agglomération - métro, tramway, bus et parc-relais pour favoriser l'inter-modalité – aux mesures tarifaires pour les jeunes et à l'obligation des employeurs de participer au financement des transports en commun (*Tisseo, 2013*).

Le retour des modes actifs en ville



Graphique 9 : Taux d'équipement des ménages en vélos

Source : Enquêtes Nationales Transport 1982, 1994 et 2008

Roux (2012) remarque que dans l'ensemble, les deux-roues connaissent également un regain d'intérêt depuis les années 1990, qu'ils soient ou non motorisés. Un des premiers signes de cette évolution est l'augmentation des taux d'équipement des ménages en bicyclettes depuis les années 1980, passant de 39 % en 1982 à 50 % en 1994 (*Papon, 1997*) puis 53 % en 2008 (*Papon et De Solère, 2010*). De même d'après l'ENTD, le parc de vélos pour adultes aurait doublé depuis 1982, et aurait encore progressé de 21,3 millions à 26,7 millions entre 1994 et 2008 (*Papon et De Solère, 2010*).

Le retour de la bicyclette s'accompagne d'une modification de ses usages ou plutôt d'un retour partiel à ses usages primitifs, bien que ce phénomène demeure encore limité. Ainsi, on observe la

réhabilitation du vélo comme mode utilitaire dans les années 2000. De plus, alors que jusqu'en 1997, le vélo se diffuse plutôt dans les zones périurbaines et correspond à un usage majoritairement sportif ou de loisirs, lié au souci grandissant des ménages pour leur santé, en 2007 son utilisation augmente dans les villes-centres des grandes agglomérations où il se trouve dynamisé par la mise en place des systèmes de vélos en libre service, tandis qu'il diminue dans les zones rurales et périurbaines (*Papon et De Solère, 2010*). Il est en outre davantage plébiscité par les hommes que par les femmes. Enfin, son profil sociologique évolue, étant désormais délaissé par les ouvriers et davantage prisé par les cadres (*Papon et De Solère, 2010*).

Cependant, la progression des taux d'équipement des ménages en vélo n'entraîne pas nécessairement une évolution massive des pratiques, en particulier pour les déplacements réguliers ou contraints pour lesquels l'automobile demeure encore largement privilégiée. Ainsi, d'après l'ENTD, 55 % des ménages n'ont pas utilisé de vélo au cours des douze derniers mois (*Papon et De Solère, 2010*). Malgré l'équipement croissant en vélos des ménages, la mobilité en vélo demeure stable : compte tenu d'une augmentation du parc, chaque vélo dont disposent les ménages est donc en moyenne de moins en moins utilisé. D'après les EMD « standard CERTU », la part modale du vélo progresse ainsi de 1,8 à 2,1 % des déplacements quotidiens réalisés un jour de semaine entre les périodes 1995-2004 et 2005-09 (*De Solère, 2012*). L'usage du vélo est particulièrement développé dans l'agglomération de Strasbourg au sein de laquelle la part modale du vélo a progressé de 6 à 8 % entre 1997 et 2009, et atteint même 14 % dans le centre-ville (*ADEUS, 2010*). Dans l'agglomération de Grenoble, le volume des déplacements en vélo a progressé de + 44 % entre 2002 et 2010 (*SMTC, 2010*). La pratique du vélo progresse également dans Toulouse intra-muros (*Tisseo, 2013*). En Ile-de-France, le nombre de déplacements à vélo est multiplié par deux entre 2001 et 2010 selon la dernière Enquête Globale Transports. Cette hausse, qui est surtout le fait des résidents du cœur de l'agglomération parisienne, doit beaucoup à la mise en service du dispositif *Vélib*, qui assure 27 % des déplacements à vélo dans Paris (*STIF, 2012*).

L'Enquête Nationale Transports confirme les signes d'une stabilisation de la pratique du vélo et même d'un renouveau dans les centres des grandes agglomérations, bien que ce mouvement soit encore d'ampleur limitée sur le territoire dans son ensemble. Ainsi, la part du vélo reculerait légèrement de 2,9 à 2,7 % des déplacements quotidiens entre 1994 et 2008 (résultat supérieur à ce qu'indiquent les EMD) après une forte diminution entre 1982 et 1994 (*Papon et De Solère, 2010*). Les évolutions de la pratique des modes actifs sont toutefois contrastées selon la zone de résidence : l'usage du vélo a fortement progressé à Paris, de 0,3 à 2,7 % des déplacements quotidiens, ainsi que dans les centres-villes des grandes aires urbaines, de 2,6 à 3,9 %, et des petites aires urbaines, de 2,4 à 3,0 %, tandis que son usage recule sur le reste du territoire.

L'exemple de Strasbourg montre que le vélo présente un potentiel de report modal élevé là où des politiques volontaristes à long terme sont mises en œuvre. Le potentiel du vélo est d'ailleurs très loin d'être entièrement réalisé, même dans l'agglomération de Strasbourg où le vélo n'assure que 12 % des déplacements de un à trois kilomètres, contre 52 % pour la voiture (*De Solère, 2012*). De même d'après l'ENTD, si l'usage du vélo ne correspond pas encore dans l'ensemble à une pratique régulière, une pratique occasionnelle est largement répandue, suggérant un vaste potentiel pour le déploiement du vélo dans les déplacements quotidiens. Ainsi, 40 % des personnes de six ans et plus déclarent utiliser le vélo au moins occasionnellement (*Papon et De Solère, 2010*). De plus, la pratique du vélo est synonyme de plaisir, 82 % des personnes interrogées déclarant aimer se déplacer à vélo contre seulement 7 % trouvant cette pratique désagréable.

En outre, la majorité des déplacements automobiles sont relativement courts, un sur deux étant inférieur à cinq kilomètres, et un sur quatre à trois kilomètres (*Fontaine et Hubert, 1997*). La répartition des déplacements automobiles selon leur distance suggère que l'hégémonie actuelle de la voiture dans les déplacements quotidiens n'est pas une fatalité, mais qu'une large partie des déplacements automobiles sont potentiellement substituables, en particulier par le vélo (*Mathon et Palmier, 2012*), sous réserve toutefois d'une compréhension fine des situations de mobilité et des aspirations individuelles, de manière à mieux concevoir les actions en matière d'aménagement, par exemple, qui pourraient être de nature à favoriser ce report modal. En effet, au-delà de la distance à parcourir qui constitue un premier indicateur du potentiel cyclable, le succès futur du vélo – le cas échéant électrique – qui représente certainement l'alternative la plus crédible à la voiture, dépendra aussi dans une large mesure des aménagements destinés à sécuriser les cheminements et les stationnements cyclables de manière à en faciliter l'usage en milieu urbain, ainsi que de la capacité des pouvoirs publics à susciter l'intérêt pour ce moyen de transport au sein de la population. L'attitude favorable de la population à l'égard du vélo constitue de ce point de vue un signe encourageant. C'est surtout pour les déplacements vers le travail qu'une évolution des pratiques semble difficile à concrétiser, notamment en raison de déplacements nettement plus longs que pour les autres motifs ainsi que de la nécessité de chaîner certains déplacements, par exemple de travail et d'accompagnement scolaire.

Si l'usage du vélo progresse à nouveau légèrement, la pratique de la marche demeure globalement stable depuis le début des années 1990 (*Quetelard, 2012*), même si elle tend à se redresser légèrement autour de 29 % de part modale vers la fin des années 2000 d'après les EMD « standard CERTU ». Pratique naturelle pour les déplacements de proximité, la marche a conservé une place importante même pendant la période d'hégémonie de la voiture, de sorte que les potentiels de report modal vers la marche demeurent sans doute limités, contrairement à ce qu'on peut supposer pour le vélo (*De Solère, 2012*). Bien que la marche à pied semble progresser dans certains territoires, les évolutions sont de faible ampleur, et de plus sujettes à caution. Dans les Alpes-Maritimes, la part de la marche progresse de 31 à 33 % entre 1998 et 2009. La marche, particulièrement développée à Paris et dans sa banlieue, tend de plus à s'y renforcer. Toutefois, cette évolution est difficilement interprétable car les déplacements à pied ont fait l'objet d'un recueil plus attentif dans la dernière enquête (*STIF, 2012*). La progression apparente de la marche pourrait donc résulter d'une évolution du recueil davantage que d'une modification réelle des pratiques. D'après l'ENTD, si la pratique de la marche est de plus en plus délaissée pour les déplacements liés au travail, elle tend par contre à se stabiliser pour les déplacements d'achats après une période de forte baisse, ce qui pourrait être lié à un retour vers les commerces de proximité faisant suite à l'expansion des « grandes surfaces ». La marche tend par ailleurs à être davantage pratiquée par les femmes, contrairement au vélo qui est davantage une pratique masculine (*Papon et De Solère, 2010*).

Les aménagements publics visant à améliorer le cadre de vie des habitants et à restreindre l'usage de la voiture en ville, la loi handicap de 2005, le programme « voirie pour tous », la démarche « code de la rue », sont sans doute autant de démarches ayant contribué à favoriser le retour des modes actifs en ville depuis quelques années (*De Solère, 2012*). La congestion des agglomérations et l'augmentation des prix des carburants incitent sans doute également les ménages à revoir leurs comportements. Cependant, dans l'ensemble, la part des modes actifs ne connaît pas des évolutions très importantes, et la période entre les deux dernières enquêtes nationales transport indique plutôt une stabilisation du partage modal après une période de substitution très rapide de la voiture aux autres modes.

L'essor des deux-roues motorisés

Le parc et l'usage des deux-roues motorisés progressent à nouveau, en raison des facilités de circulation et de stationnement qu'ils offrent dans un environnement urbain congestionné et compte tenu des contraintes croissantes sur l'usage de la voiture. Ainsi que l'observe *De Solère (2012)*, ils permettent de se déplacer plus rapidement et à plus faible coût qu'en voiture, grâce aux tolérances qui leur sont accordées vis-à-vis du code de la route, qu'il s'agisse des remontées de file, de la circulation dans les voies réservées aux bus ou encore du stationnement sur les trottoirs.

D'après la Chambre syndicale nationale du motocycle, le parc de deux-roues motorisés augmente à nouveau depuis 1998 (*Roux, 2012*). D'après l'ENTD, il représente 3,8 millions de véhicules en 2008, dont 57 % de motos, 30 % de scooters et 13 % de cyclomoteurs. De plus, 12 % des ménages français seraient équipés d'au moins un deux-roues motorisé (*Robin, 2010*). Cependant, d'après le bilan de la circulation du rapport à la Commission des Comptes Transport de la Nation (CGDD, 2014), l'attrait pour les deux-roues motorisés semble désormais refluer, avec un déclin des immatriculations neuves pour la sixième année consécutive en 2013, en baisse annuelle moyenne de - 9,2 % depuis 2009, qui pourrait résulter de la crise économique, de tendances à la saturation du marché mais également d'une prise de conscience de l'insécurité routière associée à la conduite de deux-roues motorisés.

Toutefois, comme pour le vélo, le niveau d'équipement en deux-roues motorisés ne se traduit pas forcément par une évolution massive des pratiques, qui restent largement en-deçà de ce qu'on pourrait attendre au regard des niveaux d'équipement. Les deux-roues motorisés semblent plutôt être utilisés en tant qu'équipement complémentaire de la voiture : ainsi, seuls 6 % des ménages sans voiture possèdent un deux-roues motorisés tandis qu'ils sont 19 % parmi les ménages à disposer d'au moins deux voitures. Il semble qu'on puisse distinguer deux sortes de possesseurs de deux-roues motorisés : ceux pour lesquels il constitue l'unique moyen de transport et ceux pour lesquels il constitue un complément à d'autres moyens de transport, notamment la voiture. Les utilisateurs de deux-roues motorisés sont très majoritairement des hommes à 87 % (*Robin, 2010*).

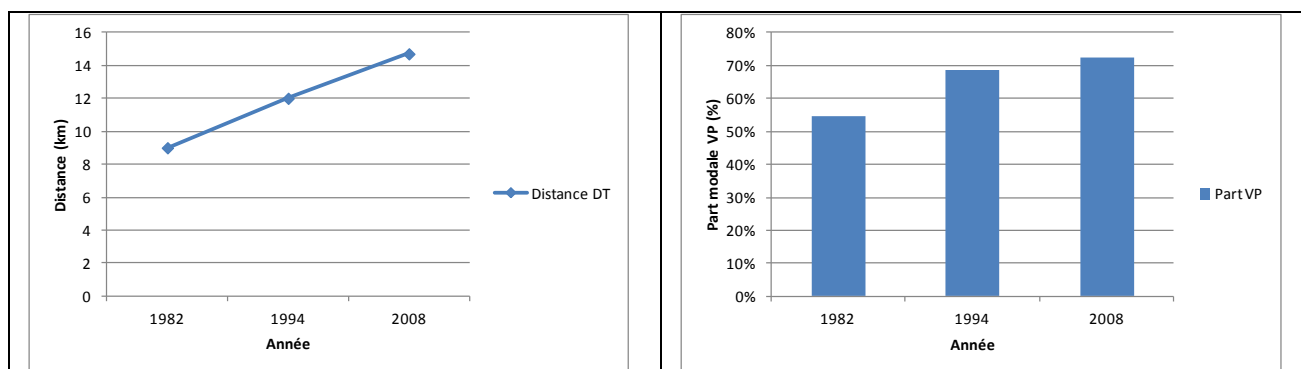
L'augmentation du parc s'accompagne toutefois d'une légère progression de l'usage des deux-roues motorisés. Ainsi, d'après l'ENTD, la proportion des déplacements quotidiens réalisés en deux-roues motorisés a progressé de 1,4 à 1,7 % entre 1994 et 2008 (*Quetelard, 2010*). Bien qu'en forte progression, ils demeurent néanmoins à ce jour un mode marginal, n'assurant que 1,5 % des déplacements dans les agglomérations françaises à la fin des années 2000. D'après l'Enquête Globale Transports, l'usage des deux-roues motorisés connaît également un regain d'attractivité en Ile-de-France, avec une progression de + 34 % entre 2001 et 2010, une augmentation surtout observable chez les résidents du cœur d'agglomération. La pratique des deux-roues motorisés est surtout le fait d'hommes (87%), d'actifs (83%), de moins de 50 ans (80%) et pour le motif travail (56%). Dans l'agglomération nantaise, elle progresse également de façon sensible depuis 2002 (*Séguin et al., 2010*). L'augmentation du recours aux deux-roues motorisés se répercute sur la circulation qu'ils génèrent, qui a doublé en vingt ans, et représente 2,5 % de la circulation totale en 2010 (*CGDD, 2012*). Cependant, la circulation générée par les deux-roues motorisés a désormais tendance à plafonner avec une croissance annuelle moyenne de + 0,8 % depuis 2008, résultant notamment du ralentissement de la croissance du parc consécutif au repli des nouvelles immatriculations.

En dépit du regain d'intérêt pour l'ensemble des modes dans leur diversité, la mobilité quotidienne totale a diminué. Ce résultat suggère que les réductions de l'usage de la voiture pourraient avoir

été consenties sous la pression de contraintes extérieures, dont certaines ont déjà été suggérées – notamment les contraintes monétaires et temporelles – et que celles-ci auraient entraîné une perte nette de mobilité, en dépit d'un recours accru aux modes alternatifs là où des alternatives existent. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que l'automobile permet de desservir n'importe quelle zone du territoire, tandis que les autres modes et en particulier les transports collectifs sont contingents à l'offre alternative disponible qui est répartie de manière très hétérogène, avec une forte concentration dans les zones les plus densément urbanisées. Ce différentiel d'adaptabilité est susceptible de générer des répercussions sociales hétérogènes entre les territoires, ainsi que nous le montrerons dans la section II.2.d.

1.3.b.3) Les déplacements vers le travail restent dépendants de l'automobile

En dépit d'une réduction de la mobilité en voiture, s'accompagnant d'une forte progression des modes alternatifs à la voiture dans les zones urbaines les plus denses, dont nous examinerons les causes éventuelles dans le chapitre II, la voiture demeure incontournable pour certains types de déplacements, et en particulier pour les déplacements vers le travail qui sont les plus longs et les moins aisément substituables, les déplacements pour les autres motifs s'effectuant plus souvent dans des bassins de proximité. La prédominance de la voiture pour les déplacements vers le travail résulte aussi de l'évolution de la répartition des actifs sur le territoire, une proportion croissante d'entre eux résidant dans les communes périurbaines et au sein de l'espace à dominante rurale, tandis que l'emploi continue de demeurer concentré dans les pôles urbains (François, 2010). Ces tendances entraînent une déconnexion croissante entre les lieux de résidence et les bassins d'emploi, même pour les professions indépendantes comme les agriculteurs et les commerçants qui habitent de moins en moins souvent sur leur lieu de travail.



Graphique 10 : Distance moyenne d'un déplacement entre le domicile et le lieu de travail, et part modale de la voiture pour les déplacements vers le travail
Source : Enquêtes Nationales Transport 1982, 1994 et 2008

Ainsi au niveau national, la moitié des salariés du privé travaillaient à plus de huit kilomètres de chez eux en 2004 (Baccaini et al., 2007). 50 % des déplacements vers le travail font plus de 10 km, ces derniers étant 1,5 à 2 fois plus longs que les autres (De Solère et al., 2012). En outre, d'après les Enquêtes Nationales Transports, la longueur moyenne des déplacements domicile-travail n'a jamais cessé de progresser, passant encore de 9,4 à 11,1 km entre 1994 et 2008, soit une augmentation de + 1,3 % par an en moyenne, contre + 0,7 % pour l'ensemble des déplacements, tous motifs confondus (Hubert et Delisle, 2010). La distance des déplacements vers le lieu de travail tend donc à croître davantage que pour les autres motifs. Par ailleurs, la durée moyenne des déplacements vers le travail suit la même trajectoire, avec une progression d'environ + 10 % alors

qu'elle tend à demeurer stable pour les autres motifs. Les temps de parcours sont encore plus importants pour les Franciliens qui mettent en moyenne de 31 mn – pour les résidents de Paris - à 36 mn – pour les résidents des communes périurbaines du pôle urbain de Paris - pour se rendre à leur travail (*François, 2010*). La périurbanisation, l'élargissement des bassins d'emploi et la mobilité professionnelle croissante des salariés contribuent à expliquer l'allongement continu des distances domicile-travail.

L'augmentation de la distance des déplacements vers le travail ne s'explique pas entièrement par le recours accru à la voiture, mais provient également des tensions sur les marchés immobiliers qui contraignent un nombre croissant de ménages à s'éloigner toujours davantage du centre de l'agglomération et donc des lieux d'emploi. Ainsi, une analyse des données de *ParcAuto* montre que la longueur moyenne des déplacements entre le domicile et le lieu de travail réalisés en voiture a elle-même continuellement progressé, passant de 13,7 à 16,7 km entre 1984 et 2013. En outre, les bénéfices théoriques de la voiture pour la vitesse des déplacements peuvent être dans la pratique limités par la dégradation des conditions de circulation résultant de la congestion, ou encore les limitations de vitesse de plus en plus contraignantes dans les agglomérations. Même en l'absence d'allongement des déplacements, il est donc possible que les durées de déplacements effectives se dégradent, en particulier pour les déplacements vers le travail, et on peut supposer que les individus seront conduits à utiliser d'autres stratégies afin de maîtriser leur temps de déplacement total, comme la réduction du nombre des déplacements quotidiens. Nous reviendrons sur ce point lorsque nous aborderons les explications concurrentes de l'évolution des comportements de mobilité dans le chapitre II.

En raison de l'allongement des distances et des durées des déplacements vers le travail, la voiture tend à être particulièrement privilégiée pour ce motif, aussi bien selon l'ENTD que selon les EMD. D'après l'ENTD, 72,3 % des personnes utilisent la voiture pour se rendre à leur lieu de travail en 2008, (*François, 2010*). Selon les EMD, la part de la voiture varie de 50 à 65 % de l'ensemble des déplacements selon les agglomérations, mais de 65 à 80 % des seuls déplacements vers le travail (*De Solère et al., 2012*). Au total, le seul motif travail représente 40 % des distances parcourues en voiture et 50 % en voiture conducteur. A contrario, la part des autres modes baisse pour ce motif, qu'il s'agisse des transports collectifs, de la marche ou du vélo, seuls les deux-roues motorisés connaissant un regain d'intérêt dans les zones urbanisées. Ainsi, le recours aux transports en commun diminue pour ce motif, de 18,5 % en 1982 à 13,3 % en 2008 (*François, 2010*). De même, la part de la marche à pied chute de 15 à 9,2 % entre 1982 et 2008. Le vélo demeure un mode marginal pour se rendre à son travail, surtout utilisé par des hommes jeunes. En revanche, la part des deux-roues motorisés remonte pour atteindre 3 % des déplacements vers le travail en 2008 (*François, 2010*).

Les motifs de dépendance automobile se reflètent dans les opinions individuelles sur l'utilité de la voiture dans l'ENTD, 55 % des personnes interrogées jugeant la voiture utile pour les déplacements vers le lieu de travail, faisant du travail le second motif pour lequel la voiture est jugée la plus utile après les déplacements d'achats (*Robin, 2010*). L'utilité de la voiture apparaît donc globalement plus importante pour les déplacements contraints. Au regard de ces éléments, il est vraisemblable que les individus commencent par renoncer à leurs déplacements automobiles non-contraints avant d'envisager de modifier leurs pratiques en matière de déplacements contraints, qui sont les plus dépendantes de l'automobile.

Cependant, les déplacements vers le travail sont structurants de l'ensemble de la mobilité quotidienne (*Boulaïbal, 2001 ; CERTU, 2010 ; De Solère et al., 2012*). D'après les EMD « standard

CERTU », les déplacements vers le travail représentent près d'un quart de l'ensemble des déplacements quotidiens, 25 à 30 % des déplacements en voiture, et près de 45 % des déplacements en voiture réalisés à l'heure de pointe du matin, entre 7 h et 9 h. De ce fait, ils sont particulièrement structurants dans l'organisation de la mobilité quotidienne mais également pour le dimensionnement des services et infrastructures de transport (*CERTU, 2010*). De plus, un grand nombre de déplacements quotidiens sont effectués soit à partir du lieu de résidence, soit à partir du lieu de travail, par exemple pour les achats et l'accompagnement scolaire des enfants (*Boulaïbal, 2001*). De ce fait, si la voiture est privilégiée pour les déplacements vers le travail, elle tendra également à être utilisée pour d'autres motifs en raison de la flexibilité incomparable qu'elle offre lorsqu'il s'agit d'enchaîner plusieurs déplacements en des localisations différentes. La dépendance automobile liée aux déplacements vers le travail tend donc à se répercuter sur les autres types de déplacements, limitant le potentiel de changement des comportements de mobilité.

1.3.b.4) L'émergence d'alternatives « servicielles » à la possession d'un véhicule personnel

En parallèle au « *big bang* » des mobilités observé pendant cette période, qui semble passer par la recherche d'alternatives « tous azimuts » à l'usage de la voiture, on voit également émerger de nouvelles offres de mobilité qui se présentent sous la forme de services marchands. Ces offres sont développées par les pouvoirs publics en partenariat avec le secteur privé, qui y voit l'opportunité de marchés émergents disposant d'un fort potentiel de croissance : parcs-relais favorisant l'inter-modalité, vélos en libre-service, transport à la demande, bus à haut niveau de service, covoiturage, auto-partage. Les NSM ou « *nouveaux services à la mobilité* » présentent différentes caractéristiques qui suggèrent un « changement de paradigme » :

- D'une part, la mise en place d'alternatives « *servicielles* », marchandes, à la possession d'une voiture particulière. Cette évolution de fond représente une modification assez profonde de la conception de l'automobile, et plus généralement de la mobilité. Elle implique en particulier un déplacement du point de vue du consommateur qui se montrerait davantage intéressé par l'utilisation d'un service que par la possession d'un bien durable, la voiture particulière, à partir de laquelle il « autoproduit » sa mobilité. S'agit-il d'une alternative pérenne au véhicule personnel ? L'avenir le dira, mais le développement de tels services implique en tous cas des changements psychologiques assez profonds, dans la mesure où ils représentent, au moins pour les titulaires du permis, une perte d'autonomie et de flexibilité en comparaison du véhicule personnel. Par ailleurs, si ces solutions s'avèrent intéressantes pour une mobilité occasionnelle, leur utilisation dans le cadre d'une mobilité contrainte régulière pose encore question ;
- D'autre part, la mise en place progressive de « solutions de mobilité intégrées et personnalisées » qui visent à articuler l'usage des différents modes et des besoins spécifiques de chaque utilisateur. Dans cette optique, le point de référence de l'offre de transport n'est plus constitué par le service, mais par les besoins de mobilité de l'individu. La création de « solutions de mobilité intégrées » est elle-même de plus en plus articulée avec l'usage des technologies de l'information qui en facilitent l'émergence ;
- Les « véhicules autonomes », en cours de développement par l'industrie automobile, représenteraient également une rupture majeure, non seulement d'un point de vue technologique mais également psychologique et comportemental. Ils impliquent en particulier l'abandon des idées de plaisir et de maîtrise associées à la conduite, dans la mesure où ils requièrent de la part du conducteur un renoncement à son autonomie et une

confiance totale dans la technologie à laquelle il se soumet pour ainsi dire « corps et âme ». Le véhicule autonome mettrait également la voiture sur le même plan que les transports en commun au regard de l'utilité intrinsèque de la mobilité, en permettant à l'utilisateur de réaliser diverses activités pendant son déplacement.

1.3.c) Des évolutions analogues pour la longue distance

Des évolutions analogues du partage modal sont observables pour les déplacements à longue distance, la part de la voiture se stabilisant autour d'environ trois quarts des voyages à longue distance (*Grimal, 2010*), voire reculant légèrement de 75,2 à 73,4 % entre 1994 et 2008 d'après la dernière enquête nationale transports, tandis que celle du train progresse de 14,1 à 17,1 % et celle de l'avion de 5,1 à 5,8 %, des évolutions qui se retrouvent dans les statistiques de fréquentation des transports interurbains. Ainsi entre 1995 et 2010, le transport ferroviaire de voyageurs « *grandes lignes* » a augmenté de + 2,9 % par an en moyenne et celui des cars interurbains de + 3,7 % (*CGDD, 2012*). Le train est en particulier de plus en plus utilisé pour les migrations pendulaires à longue distance, qui deviennent plus fréquentes.

C'est surtout dans les zones les plus densément urbanisées que l'utilisation de la voiture croît modérément ou recule pour les voyages à longue distance, au profit des déplacements en train qui connaissent une forte croissance (*Grimal, 2010*). Il semble donc qu'on assiste à une évolution globale des comportements dans les espaces les plus densément urbanisés, touchant l'ensemble des segments de la mobilité. Cela peut s'expliquer par le fait que les résidents de ces espaces disposent d'une offre en transports en commun plus efficiente que les habitants des espaces peu denses, aussi bien pour les déplacements locaux qu'à longue distance.

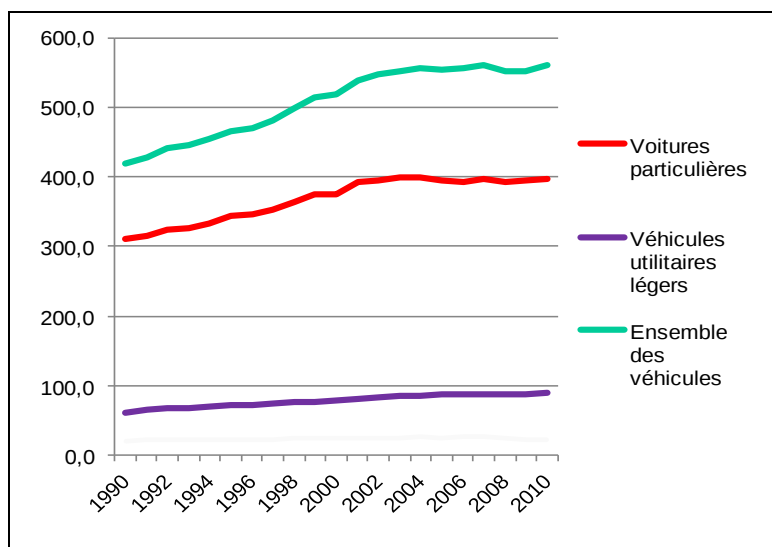
D'après le cinquante-et-unième rapport à la *Commission des Comptes Transport de la Nation* (*CGDD, 2014*), l'activité du transport ferroviaire de voyageurs tend cependant désormais à stagner avec une croissance annuelle de seulement + 0,2 % entre 2008 et 2013. Le transport ferroviaire à longue distance est même en baisse de – 0,4 % par an au cours de la même période, et la fréquentation des trains interurbains recule de – 6,1 % par an. Au sein du transport à longue distance, seule la circulation des trains à grande vitesse continue d'augmenter légèrement, avec une hausse de fréquentation de + 0,6 % annuels. Outre les effets de la crise économique, le transport ferroviaire à longue distance pourrait également subir la concurrence des nouvelles sociétés de covoiturage.

1.3.d) Le plafonnement de l'usage de la voiture

1.3.d.1) La circulation automobile plafonne globalement en France depuis 2003

En dehors des enquêtes ménages (EMD et ENTND), les signes d'une inflexion des comportements de mobilité sont également issus des statistiques consolidées de trafic au niveau national, en particulier du bilan de la circulation et des comptes transport de la nation. Après avoir augmenté de 31,7 % entre 1990 et 2003, soit + 2,1 % par an, la circulation routière sur le territoire métropolitain tend à plafonner depuis 2003, avec une progression totale de 1,4 % entre 2003 et 2010, soit + 0,2 % par an, puis de + 0,4 % par an entre 2010 et 2013 pour atteindre 567,8 G veh*km en 2013 (*CGDD, 2014*), d'après le cinquante-et-unième rapport à la *Commission des Comptes Transport de la Nation*. Le léger redémarrage observable depuis 2003 ne semble pas de

nature à remettre en cause à ce stade la tendance globale au plafonnement observable depuis 2003.



Graphique 11 : Circulation des voitures particulières (VP) et des véhicules utilitaires légers (VUL) à l'échelon national

Source : d'après SOeS, Bilan de la circulation, Comptes Transport de la Nation

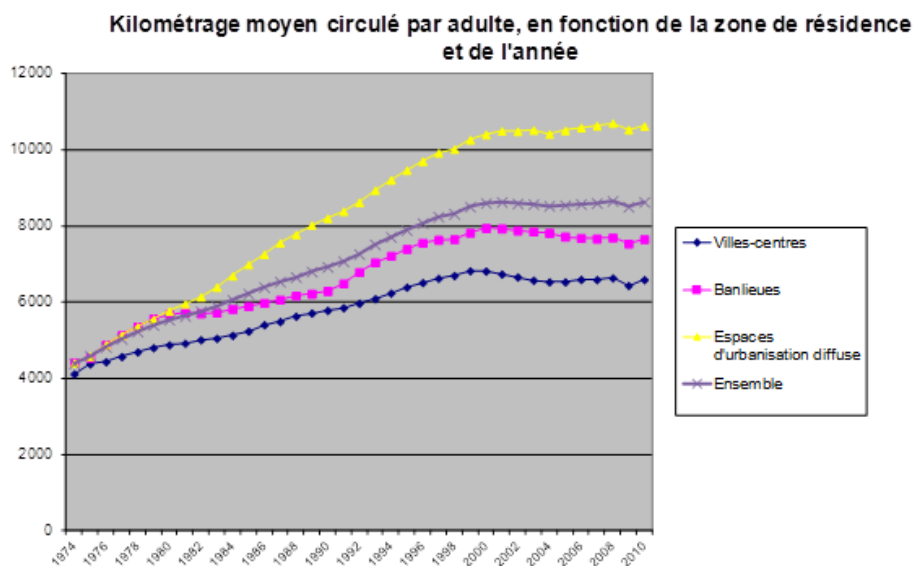
Le plafonnement de la circulation s'explique surtout par l'évolution de la circulation des voitures particulières, qui représentent environ les trois quarts (75,5 %) de la circulation totale – soit 428,5 G veh*km en 2013. Celle-ci stagne depuis 2002, et connaît à nouveau une croissance très limitée depuis 2008, de + 0,5 % par an en moyenne. Ce virage met un terme à la croissance continue de la circulation routière, portée par la circulation automobile, constatée depuis la fin de la seconde guerre mondiale, et même sur plus longue période (*Sauvant et Rouchaud, 2003*).

La circulation des véhicules utilitaires légers (VUL), au contraire, après un ralentissement temporaire entre 2004 et 2009, est repartie depuis lors à la hausse, à un rythme de + 1,7 % annuels, atteignant 94,7 G veh*km en 2013, le parc de VUL ayant également connu une croissance plus dynamique que celle des voitures particulières, de + 0,7 % par an en moyenne entre 2008 et 2013. Enfin, la circulation des poids lourds est en baisse depuis 2008, du fait de la crise économique mais aussi de la baisse tendancielle de l'intensité transport du PIB, en raison d'un plus fort contenu en services de l'activité économique que par le passé.

Si la circulation automobile tend à plafonner, la distance moyenne parcourue par l'ensemble des véhicules d'un ménage décroît. Ainsi, *Robin (2010)* relève qu'entre 1994 et 2008, dates des deux dernières Enquêtes Nationales Transport, celle-ci a reculé de 20 950 à 20 200 km. Il en va de même pour le kilométrage circulé par adulte qui, après s'être fortement accru jusqu'au milieu des années 1990, ralentit sa progression puis stagne pendant la décennie 2000. Comme le montre le graphique 12, cette stabilisation intervient dans toutes les zones de résidence, y compris les « espaces d'urbanisation diffuse »⁸, bien qu'avec une temporalité et une amplitude variables, le

⁸ La ville-centre est définie comme la ville la plus peuplée de l'aire urbaine ; les banlieues représentent le reste de la zone agglomérée ; les espaces d'urbanisation diffuse regroupent les communes périurbaines et les communes rurales en dehors des aires urbaines.

recul de l'usage de la voiture étant plus affirmé dans les agglomérations, moins dépendantes de l'automobile.



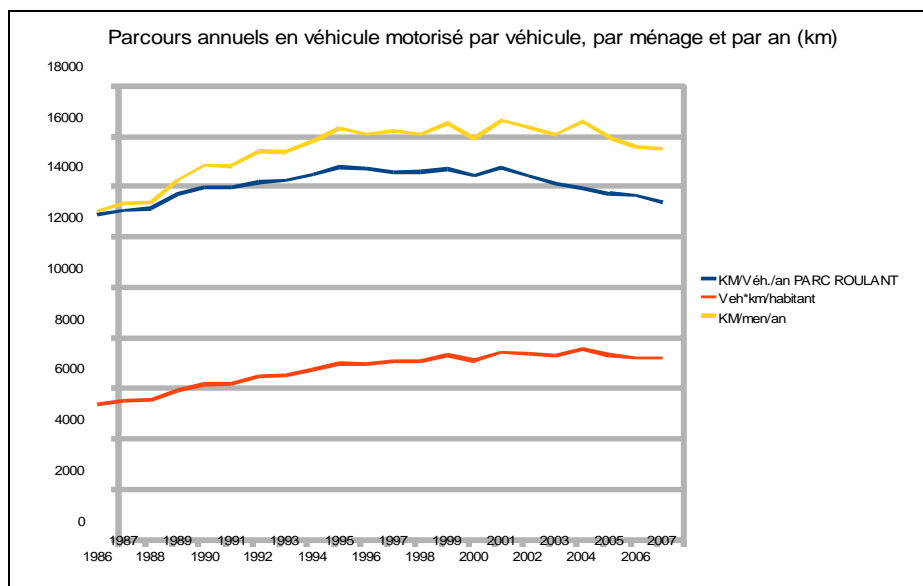
Graphique 12 : Kilométrage moyen circulé par adulte, en fonction de la zone de résidence et de l'année

Sources : Panel ParcAuto et Enquêtes de conjoncture auprès des ménages

Ainsi en Ile-de-France, le plafonnement du kilométrage par adulte a commencé dès les années 1990, suggérant une tendance à la saturation dont les Franciliens auraient été les précurseurs (Collet et al., 2013), la motorisation s'étant développée plus tôt en Ile-de-France qu'en province (Madre, 1989). En outre, le kilométrage par adulte plafonne plus récemment dans les espaces d'urbanisation diffuse, aux alentours de 2008, et à un niveau nettement supérieur à celui observé dans les agglomérations, autour de 10 500 km, contre 6 800 km dans les villes-centres (Collet et al., 2013 ; Grimal et al., 2013). L'image d'évolutions contraires selon les territoires issue des Enquêtes Nationales Transport résulte donc dans une large mesure des périodes auxquelles ces enquêtes ont été effectuées.

1.3.d.2) L'utilisation de chaque véhicule décline

L'évolution de la circulation automobile résulte à la fois de la croissance du parc automobile et de celle du parcours annuel moyen des véhicules. Ainsi que nous l'avons relevé (cf. section 1.2.c.1), une tendance à la saturation des niveaux d'équipement automobile des ménages se dessine depuis 2006, tendance qui peut avoir contribué à la stabilisation du kilométrage annuel moyen par adulte en âge de conduire. Cependant, le plafonnement de l'usage de la voiture est antérieur à cette inflexion, et résulte par conséquent aussi d'une baisse des parcours annuels moyens des véhicules.



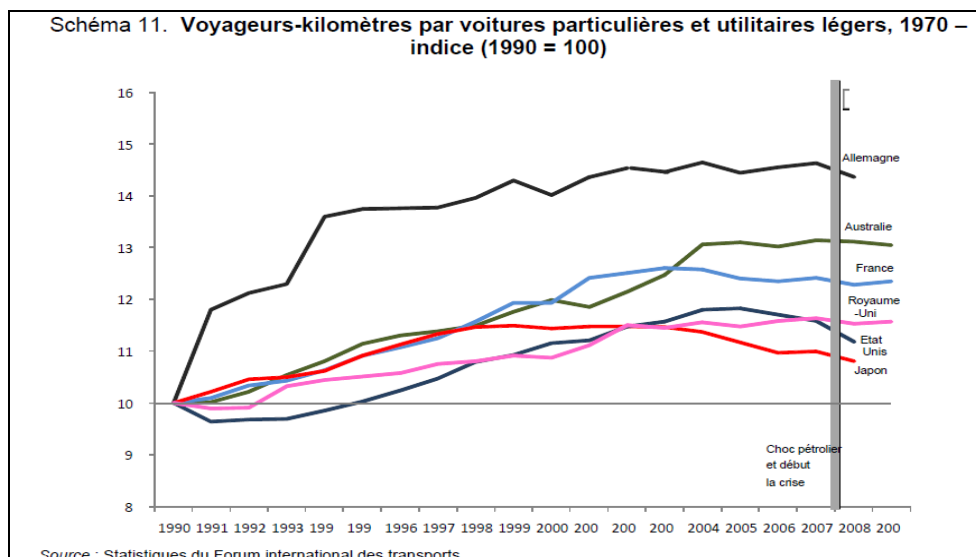
Graphique 13 : Circulation engendrée par les véhicules motorisés par ménage, par personne et par véhicule

Source : Panel ParcAuto TNS-SOFRES, SOeS-ADEME-IFSTTAR-CCFA

D'après le rapport à la *Commission des Comptes transports de la Nation*, l'augmentation du nombre de voitures en circulation a fortement contribué à la croissance de la circulation totale entre 1990 et 2002, avec une progression de + 33,9 % sur l'ensemble de la période, soit + 1,5 % annuels. En revanche, les parcours annuels moyens des véhicules étaient d'ores et déjà orientés à la baisse, de l'ordre de - 2 % sur l'ensemble de la période, soit - 0,2 % par an en moyenne (CGDD, 2012). Cette baisse s'est nettement accentuée pendant la décennie 2000, avec un recul total de - 5,7% entre 2000 et 2010 (CGDD, 2012), et s'est poursuivie mais à un rythme ralenti au cours de la période la plus récente, le recul du parcours annuel moyen par voiture n'étant que de - 0,1 % par an en moyenne entre 2008 et 2013, pour atteindre 12 700 km en 2013 contre 13 320 km en 1994, lorsqu'il était à son maximum (CGDD, 2014). Associé à la tendance à la saturation des niveaux d'équipement automobile des ménages depuis 2006, le recul de l'utilisation des véhicules contribue donc également à rendre compte de la stagnation du trafic automobile.

1.3.d.3) Cette tendance est commune à l'ensemble des pays développés

Cependant, cette tendance n'est pas spécifique à la France mais s'observe dans l'ensemble des pays développés. A partir de 2008, des analyses conduites séparément dans plusieurs pays ainsi que des comparaisons internationales montrent qu'elle est commune à la grande majorité des pays de la zone OCDE. La stabilisation du trafic automobile présente un caractère historique. *Millard-Ball et Schipper (2010)* notent ainsi que l'équipement automobile des ménages, l'utilisation des véhicules et la demande totale de transport n'avaient cessé de progresser entre les années 1970 et le début des années 2000 dans les pays industrialisés.



Graphique 14 : Circulation engendrée par véhicule, en indice base 10 en 1990, dans différents pays de l'OCDE

Source : Statistiques du Forum International des Transports, dans « Perspectives des Transports – répondre aux besoins de 9 milliards de personnes », OCDE/FIT (2011)

Aux Etats-Unis par exemple, le kilométrage circulé par adulte stagne depuis l'an 2000 et connaît, depuis 2005, la plus forte réduction depuis la seconde guerre mondiale (*Puentes et Tomer, 2008*). De même en Grande-Bretagne, le trafic automobile par adulte stagne depuis l'an 2000, en dépit d'une forte croissance économique (*Le Vine et al., 2009*). Les auteurs notent également des changements significatifs dans les taux de titulaires du permis et l'équipement automobile.

Des tendances similaires sont constatées dans les autres pays industrialisés. Très rapidement, des comparaisons internationales sont menées dans le cadre de groupes de travail du Forum International des Transports (FIT) au sein de l'OCDE (*Millard-Ball et Schipper, 2010 ; OCDE/FIT, 2011*). *Millard-Ball et Schipper (2010)* montrent une rupture de tendance dans la trajectoire de croissance de la circulation automobile pour huit pays industrialisés, qui plafonne ou décline depuis le tournant du millénaire (Etats-Unis, Canada, Suède, France, Allemagne, Royaume-Uni, Japon et Australie), en dépit de configurations très diverses de l'organisation des territoires, de l'offre de transport et de la fiscalité des carburants. Ainsi les Etats-Unis, par exemple, sont caractérisés par une urbanisation diffuse très orientée vers l'usage de l'automobile, tandis que le Japon est plutôt caractérisé par une urbanisation dense qui favorise l'usage des transports collectifs. La fiscalité des carburants (*Sterner et al., 1992 ; Parry et Small, 2005*) ainsi que les formes de développement et les infrastructures de transport (*Van de Covering et Schwanen, 2006*) diffèrent aussi fortement d'un pays à l'autre. Ces différences sont susceptibles d'expliquer que le plafonnement du trafic automobile survienne pour des seuils très hétérogènes. Il est possible de distinguer trois groupes de pays : les Etats-Unis, qui présentent le niveau d'usage de la voiture le plus élevé, puis le Canada et l'Australie, enfin les pays européens et le Japon qui sont plus densément urbanisés et peuplés.

Ces évolutions s'accompagnent d'un certain renouveau des transports publics. *Millard-Ball et Schipper (2010)* observent ainsi que les parts modales du bus et du train demeurent constantes, voire augmentent légèrement depuis 2002 en Suède, au Royaume-Uni, en France et aux Etats-Unis.

1.3.d.4) L'utilisation de la voiture dé-corrélée d'avec la croissance économique

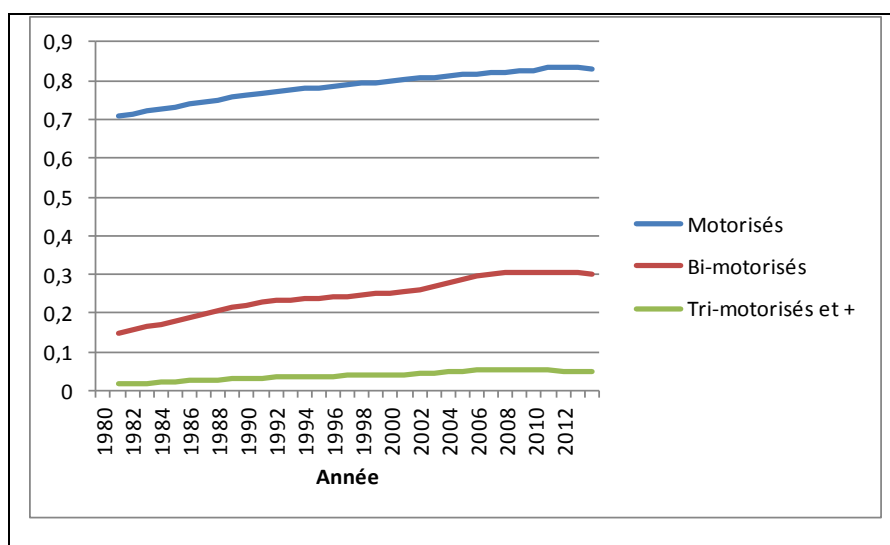
Cette inflexion est d'autant plus inattendue que la croissance économique s'est poursuivie dans les huit pays étudiés dans le cadre de l'article de *Millard-Ball et Schipper (2010)*, à savoir les Etats-Unis, le Canada, la Suède, la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni, le Japon et l'Australie, quoiqu'à un rythme ralenti. Plus généralement, *ITF (2013)* remarque une tendance à la dé-corrélation entre l'usage de la voiture et le PIB depuis le tournant du millénaire dans les pays développés. Ils en déduisent que si la récession de 2008 suivant la crise financière contribue sans doute au ralentissement de la croissance du trafic, un retour à l'augmentation des revenus n'entraînerait pas pour autant nécessairement une inversion de tendance, le plafonnement actuel étant susceptible de refléter d'autres causes, de nature plus structurelle, qui pourraient perdurer au-delà de la crise. En Grande-Bretagne, *Le Vine et al. (2009)* mettent également en évidence cette dé-corrélation, avec un plafonnement de l'usage moyen de la voiture par adulte à partir de 2002, et un déclin de – 5 % entre 2005 et 2008 (*DfT, 2009*), alors que la motorisation a continué de croître au moins jusqu'en 2006. De même, *Burwell (2012)* observe qu'aux Etats-Unis comme dans la plupart des pays européens, la circulation automobile est désormais dé-corrélée de la croissance économique. En fait, ils trouvent une tendance à l'affaiblissement de la relation structurelle entre le trafic et la croissance économique, plutôt qu'une rupture dans cette relation, ce qui est cohérent avec d'autres travaux qui tendent à prouver l'existence d'un déclin tendanciel des élasticités-revenus du trafic automobile. Des approches basées sur les techniques d'économétrie spatiale sur données régionales, du type de celles développées par *Madre et Pirotte (1992)*, ou plus récemment, *Pirotte et Madre (2013)*, qui permettent de dissocier les tendances nationales en matière de croissance économique ou d'évolution des revenus - avec des effets éventuellement hétérogènes selon les régions – des effets d'interaction spatiale, permettraient également d'approfondir cette question.

Millard-Ball et Schipper (2010) ont avancé l'hypothèse selon laquelle l'effet du revenu sur l'usage de la voiture pourrait diminuer fortement à partir d'un certain niveau de vie. En supposant que ce seuil de niveau de vie soit franchi, la demande pourrait à l'avenir être déterminée moins par le contexte économique que par les phénomènes démographiques et spatiaux (*OCDE/FIT, 2011*). *Millard-Ball et Schipper (2010)* observent que cette stabilisation tendrait à se produire au-delà d'un seuil de revenu de 25 à 30 000 \$, toutefois hétérogène selon les pays : il se situerait ainsi plutôt aux alentours de 37 000 \$ aux Etats-Unis. Une autre explication du découplage entre trafic et croissance économique avancée par *Goodwin (2013)* est le déclin de l'intensité transport du PIB en Grande-Bretagne, traduisant une économie de plus en plus dématérialisée et basée sur les services, après une période de forte augmentation entre 1980 et le début des années 1990. Notons également que la possibilité d'une dé-corrélation entre trafic et croissance économique fut suggérée par *Madre et al. (2002)* dans le cas de la France, juste avant le plafonnement de la circulation en France à partir de 2003, cette fois-ci plutôt sur la base d'arguments de nature démographique, à savoir une érosion progressive des écarts entre générations qui constituaient jusqu'ici la principale cause de croissance du trafic à long terme, avec la disparition progressive des générations plus anciennes qui avaient eu un accès plus restreint à l'automobile.

Or, plusieurs auteurs soulignent l'importance qu'avait jusqu'ici cette relation pour la prévision de la demande de transport et l'urgence de réévaluer les modèles s'appuyant sur cette hypothèse (*Le*

Vine et al., 2009). L'évolution des revenus est ainsi généralement considérée comme le principal moteur de croissance de la demande de transport, la prospérité entraînant notamment des niveaux de motorisation de plus en plus élevés (Webster et Bly, 1981). De ce fait, les scénarios de prévision de la demande de transport supposent généralement que le trafic automobile évolue en relation avec le PIB ou le revenu moyen des habitants, qui peut être utilisé comme *proxy* pour le PIB (OCDE/FIT, 2011). La dé-corrélation que l'on observe entre le trafic automobile et l'activité économique tendrait à remettre en question les hypothèses traditionnelles d'indexation du trafic sur la croissance économique utilisées dans les modèles de prévision de la demande de transport. Différents auteurs (par ex. Goodwin, 2010-11) soulignent le décalage entre les tendances observées depuis maintenant plus d'une décennie et les prévisions gouvernementales qui continuent de prévoir une forte croissance annuelle de la demande à long terme, en reliant ces prévisions de trafic aux anticipations de croissance du PIB. Ils remarquent que les modèles actuels de la demande de transport au niveau national sont inadaptés pour traiter de possibles phénomènes de saturation, et sont rarement basés sur une théorie cohérente des comportements de mobilité. Ces lacunes se répercutent sur les prévisions de la demande énergétique du secteur des transports, ou encore des émissions de gaz à effet de serre, qui sont dérivées des prévisions de trafic. Nous reviendrons sur ce sujet et nous proposerons dans le chapitre III un modèle rationnel permettant justement de rendre compte d'un processus de convergence vers la saturation, dont résultent des élasticités déclinantes de l'usage moyen de la voiture par rapport au revenu.

1.3.d.5) Des tendances à la démotorisation



Graphique 15 : Taux de motorisation en France métropolitaine

Lecture : 0,7 = 70 % de ménages motorisés

Source : Recensements de la population

A l'échelle internationale, la croissance de l'équipement automobile s'est ralentie dans tous les pays et la motorisation semble même décliner aux Etats-Unis depuis 2007, quoiqu'à partir de niveaux de motorisation particulièrement élevés. De plus, environ un tiers des nouvelles immatriculations de véhicules au Japon sont des petites voitures - moins de 600 cm³. Parmi les facteurs expliquant cette tendance, les contraintes de circulation et de stationnement semblent également avoir un impact sur les taux d'équipement au Royaume-Uni et dans les villes américaines les plus denses telles que New-York (Stead et Marshall, 2001 ; Weinberger et al.,

2009), ainsi que sur l'équipement automobile et les ventes de véhicules neufs dans différents pays Européens (Ryan et al., 2009).

A l'échelle nationale en France, les niveaux de motorisation des ménages tendent à plafonner depuis 2006 (cf. section 1.2.c.1), bien qu'on ignore encore si cette stabilisation présente un caractère temporaire ou pérenne, et s'explique plutôt par l'atteinte de seuils de saturation ou bien par l'évolution des conditions économiques. Par ailleurs, la stabilisation globale des niveaux d'équipement masque des évolutions à la baisse dans certaines zones et pour certains groupes de population. Ainsi, les cadres, massivement représentés en Ile-de-France, tendent à se dé-motoriser (Roux, 2012), en raison d'une offre attractive de transports en commun, des difficultés de stationnement en zone centrale ainsi que d'une taille des ménages inférieure à la moyenne. Les Parisiens et les habitants de la petite couronne tendent à se séparer de leurs véhicules depuis 1990 (Madre et al., 2013), une tendance qui s'est poursuivie dans la décennie suivante en s'étendant à la proche couronne (STIF, 2012). Près de six ménages parisiens sur dix ne disposent plus de véhicule en 2008. De même, dans la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), le nombre de voitures par ménage a légèrement baissé, de 1,01 à 0,95 entre 1997 et 2009, pour revenir au même niveau qu'en 1988 (ADEUS, 2010).

En outre, la croissance de l'équipement automobile ralentit sa croissance dans les zones peu denses, avec une tendance récente au plafonnement du multi-équipement. Madre et al. (2015), en s'appuyant sur les données des enquêtes de recensement annuelles, ont construit des séries longues annuelles pour la motorisation des ménages dans les communes de moins de 10 000 habitants, couvrant la période s'étendant de 2004 à 2013. Ils montrent que si la récession de 2009 n'a quasiment pas affecté la trajectoire de déclin régulier de la proportion de ménages non-motorisés, elle a en revanche stoppé au moins temporairement la croissance de la proportion de ménages multi-équipés dans les communes de moins de 10 000 habitants à partir de 2009, du moins pour les communes périurbaines peu denses situées dans un voisinage dense. Dans ces espaces, l'effet de la crise semble avoir coïncidé avec une certaine saturation de l'équipement automobile. De plus, le taux de multi-équipement des « nouveaux arrivants »⁹ dans ces espaces est orienté à la baisse depuis 2008, une évolution qui pourrait s'expliquer en partie par le changement de profil des nouveaux arrivants, constitués plus souvent que par le passé de ménages comportant un seul adulte, mais aussi par l'augmentation de la proportion de ménages ne comportant aucun actif occupé.

1.3.d.6) L'hypothèse du « peak car (travel) »

Ainsi que le relève Goodwin (2010-11), ces tendances soulèvent plusieurs questions fondamentales :

- Ce phénomène est-il spécifique à certains territoires et/ou groupes sociaux, ou bien présente-t-il un caractère plus général ?
- Quelles en sont les causes fondamentales ? Cette question n'est pas indépendante de la précédente, dans la mesure où le caractère plus ou moins général des évolutions de

⁹Définis comme les ménages dont la personne de référence occupe son logement depuis moins de cinq ans.

comportements fournit des indications quant à leurs causes principales. En cas de phénomène localisé à certains groupes sociodémographiques ou certains territoires, le plafonnement de l'usage de la voiture pourrait davantage refléter des tendances partielles à la saturation, dans la mesure où les niveaux d'usage de la voiture sont très hétérogènes et ne correspondent pas à la même étape de diffusion de l'automobile et de son usage. A l'inverse, en cas de phénomène généralisé à l'ensemble des groupes sociaux et des territoires, on pourra supposer que ses causes présentent un caractère plus général et sont exogènes à ces déterminations particulières. Il pourrait s'agir, en particulier, de causes économiques.

- S'agit-il d'évolutions temporaires, liées aux circonstances, ou pérennes, manifestant une ou des transition(s) de la mobilité (*CEREMA-IFSTTAR, 2015*), ou le passage d'un régime comportemental à un autre ?

- Quel sont les scénarios les plus probables d'évolution de l'usage de la voiture ? *Goodwin (2010-11)*, dans une série d'articles dans *Local Transport Today*, propose une famille de scénarios stylisés en trois grandes options :

- Le plafonnement actuel représenterait l'atteinte d'un seuil de saturation, l'ensemble des besoins étant satisfaits, ou les entraves subsistantes ne pouvant être levées. Dans ce cas, l'évolution future de l'usage moyen de la voiture devrait présenter l'allure d'un plateau, et l'évolution future du trafic automobile serait déterminée essentiellement par la croissance démographique et la distribution spatiale des populations ;
- Il s'agit d'une pause temporaire dans la croissance de l'usage de la voiture, s'expliquant par des conditions économiques défavorables. Dans ce cas, le retour à des conditions économiques plus favorables devrait entraîner un retour de la croissance ;
- Tout comme pour la production de pétrole, nous avons atteint un pic « *peak* », annonciateur d'un déclin à venir. Ce climax annonce une mutation des comportements, laissant présager un « changement de paradigme ». *Newman et Kenworthy (2015)*, dans la même veine, suggèrent qu'on assisterait à la « fin de la dépendance automobile ». Les causes de cette mutation seraient multiples, depuis l'émergence de nouveaux comportements et d'un désintérêt pour la voiture dans les nouvelles générations au profit de nouveaux objets de consommation plus « *sexy* » (*smartphones*, tablettes tactiles...) jusqu'aux tendances à la ré-urbanisation - qui peuvent être prises en compte par l'hypothèse de seuils de saturation spécifiques aux différentes localisations - en passant par le renchérissement durable des énergies fossiles et le déploiement des communications électroniques qui réduisent la nécessité de se déplacer. Cet éventail très large de causes possibles sera discuté de manière plus détaillée dans la revue de la littérature qui introduit le chapitre II.

Goodwin (2010-11) attribue à ce dernier scénario le nom évocateur de « *peak car travel* », par analogie avec le « *peak oil* », attendu pour la production de pétrole au niveau mondial. Cependant, l'analogie est trompeuse. En effet, le déclin n'est qu'un scénario possible parmi d'autres, et la détermination du scénario le plus vraisemblable implique une connaissance plus précise des causes de l'inflexion actuelle des comportements, ainsi qu'une projection crédible des facteurs de la demande dans le futur, dans un environnement devenu extrêmement incertain.

Par ailleurs, contrairement à la production de pétrole, l'expansion de la demande ne semble pas *a priori* limitée par une contrainte exogène, quoique cette question demande un examen plus approfondi, et sera également abordée dans la partie introductive du chapitre II. On peut certes établir un lien entre le « *peak car* » et le « *peak oil* », à travers le constat évident selon lequel la demande est limitée en amont par l'offre à long terme. Si le rendement énergétique du pétrole

demeure constant, en effet, on peut admettre que le rationnement de l'accès aux énergies fossiles qui suivra inévitablement le « *peak oil* » entraînera une diminution de la mobilité motorisée, l'offre énergétique exerçant alors une contrainte en amont sur la demande. L'augmentation des prix refléterait alors ce rationnement en représentant une interface entre la quantité de ressources produites et la demande. Cependant, ce stade ne semble pas encore avoir été atteint, et le plafonnement actuel de la demande ne semble pas pouvoir être expliqué par le rationnement du pétrole, dans un marché où le prix ne représente pas exclusivement une interface entre l'offre et la demande, mais traduit également le rôle des intermédiaires financiers qui participent à la formation des prix. L'augmentation des prix des carburants pourrait ainsi résulter en partie d'anticipations sur la fin à venir du pétrole et/ou de la croissance de la consommation dans les pays émergents ou encore des tensions géopolitiques, l'énergie et les matières premières constituant de nouveaux débouchés pour des marchés financiers en expansion depuis les années 1990.

En outre, la notion de « *peak car* » se rapporte essentiellement au trafic moyen par adulte mais, même en cas de stagnation du kilométrage moyen par adulte, l'évolution future du trafic automobile total continuera de dépendre de la croissance démographique, de sorte qu'un déclin de l'usage individuel n'implique pas un déclin de la circulation automobile totale. Ainsi, les prévisions de l'OCDE permettent d'établir que même en cas de croissance « limitée » de la mobilité dans la zone OCDE, le transport de voyageurs augmentera tout de même de 30 % à l'horizon 2050 par rapport à 2000. De même, les projections du *Department For Transport (DfT)* au Royaume-Uni permettent de s'attendre à une croissance de l'ordre de 30 % de la circulation automobile entre 2010 et 2030, en grande partie du fait de la croissance démographique (+ 16 %) mais également en raison de l'augmentation du revenu moyen et d'une baisse des coûts réels de la conduite. En effet, le découplage entre le trafic automobile et l'évolution du PIB – ou du revenu moyen – pourrait être une dé-corrélation tendancielle et non absolue, traduisant dans une large mesure la baisse tendancielle de l'élasticité-revenu du trafic au cours du temps, résultant elle-même du processus de convergence de la diffusion de l'automobile vers la saturation, ainsi que nous le montrerons dans le chapitre III. Ce déclin est explicitement pris en compte par les projections du *DfT* qui ont estimé des élasticités du trafic par adulte au PIB par adulte de + 0,28 en 2010, + 0,22 en 2025 et + 0,19 en 2035. Bien que déclinant, l'élasticité-revenu demeure encore strictement positive, et donc génératrice de croissance.

La tendance au plafonnement de l'usage de la voiture apparaît de plus spécifique aux pays développés, mais on n'observe encore rien de tel dans les pays émergents où le trafic automobile continue d'augmenter en raison d'une forte croissance démographique. Au Mexique par exemple, la croissance démographique, jusqu'à présent très rapide, devrait se poursuivre tout en ralentissant, avec un rythme annuel de + 0,7 % par an entre 2010 et 2030, s'accompagnant d'un vieillissement de la population. Des projections pour la ville de Puebla montrent que même en maintenant constant le taux de motorisation, les pressions démographiques entraîneront une croissance de la circulation automobile au moins jusqu'en 2030-35 (*Madre et al., 2013*).

La question de l'impact de la diffusion de l'automobile dans les économies émergentes est plus incertaine, dans la mesure où on ignore quelle trajectoire de développement et de motorisation des ménages suivront ces pays. Dans l'absolu, les taux d'équipement, nettement en retrait par rapport à ceux des pays anciennement industrialisés, laissent supposer de fortes perspectives de croissance si ces pays devaient bénéficier un jour de politiques favorables au développement d'une classe moyenne. Cependant, l'hypothèse d'un alignement vers le haut des niveaux de vie sur les pays anciennement industrialisés est en l'état actuel des choses peu probable à l'échelle mondiale, même si certaines économies sont susceptibles de suivre cette trajectoire. Ainsi, à Puebla entre 1994 et 2011, la mobilité par habitant est demeurée stable autour de 1,8 déplacement par jour et

par habitant, ainsi que la motorisation individuelle, tandis que la croissance démographique s'élevait à 50 %. La persistance de la pauvreté n'a donc pas permis une diffusion de l'automobile auprès des ménages, la proportion de ménages motorisés ayant même reculé de 39 à 33 % au cours de la même période, et la proportion de ménages multi-motorisés de 10,3 à 3,8 % (Bussière, 2011).

A l'échelle mondiale, les projections de l'OCDE permettent de s'attendre à une croissance beaucoup plus élevée de la demande de transport dans les pays dits « émergents » qu'au sein de la zone OCDE. Ainsi, si à l'intérieur de la zone OCDE, les prévisions anticipent une croissance du transport de voyageurs de l'ordre de 30 - 40 % et du transport de marchandises de 60 à 90 % entre 2000 et 2050, ces derniers seront respectivement multipliés par des facteurs de 5 - 6,5 et de 4 - 5 en dehors de la zone OCDE, selon le choix des scénarios (ITF, 2011). L'écart entre prévisions basses et hautes traduit l'incertitude quant au chemin de développement que suivront les économies émergentes : l'hypothèse haute correspond au cas où les aspirations et les contraintes exogènes tendraient à un alignement des modes de vie des économies émergentes sur les économies plus avancées de la zone OCDE, tandis que l'hypothèse basse correspond au cas où ce chemin de développement serait entravé par un certain nombre de contraintes tant intérieures qu'extérieures. Cependant, dans tous les cas, la croissance des trafics routiers de voyageurs et de marchandises sera très importante dans les pays émergents.

En dépit de l'ambiguïté qu'il recèle, le terme de « *peak car* » est demeuré pour évoquer les débats autour de la question du palier dans l'usage de la voiture actuellement constaté. On lui préférera cependant le plus souvent, dans un souci de précision, celui de « plafonnement de l'usage de la voiture », dans la mesure où on s'intéresse ici davantage à l'analyse et à la compréhension des nouvelles tendances plutôt qu'à la prospective, et qu'on n'entend pas privilégier à ce stade une hypothèse plutôt qu'une autre quant à l'évolution future du trafic. La question de l'évolution future du trafic automobile et de l'usage de la voiture sera abordée dans la conclusion de la thèse. A ce stade, nous souhaitons seulement souligner que la rupture de tendance observée remet en question l'hypothèse certainement irréaliste de croissance indéfinie de l'usage moyen de la voiture, et contraint à renouveler la réflexion sur les modèles de prévision de la demande de trafic. Nous allons à présent chercher à comprendre les causes des évolutions de comportements constatées, en commençant par une revue de la littérature.

CHAPITRE II - INTERPRETATION

DES CAUSES DU « PEAK CAR » A LA MODELISATION DE L'AUTO-MOBILITE

II.1) Les causes du « peak car »

II.1.a) Revue générale de la littérature

Après avoir pris connaissance des faits et en avoir mesuré l'étendue - d'un épiphénomène local à une tendance internationale - il faut essayer d'en identifier les causes. Aussi bien les inflexions des comportements constatées à partir des enquêtes ménages locales, que le plafonnement du kilométrage moyen par adulte au niveau national, ont suscité de nombreux travaux de recherche destinés à en comprendre les ressorts, qui ont conduit à émettre un grand nombre d'hypothèses pas toujours convergentes. Dans cette section, on en dresse un panorama, que l'on a classé des plus étayées aux plus incertaines. On justifiera ensuite ce classement dans la section II.1.e, dans laquelle on s'efforce de hiérarchiser les différentes hypothèses. Toutefois, compte tenu de la remise en question, mise en évidence dans le chapitre I, de certaines relations supposées bien établies, par exemple entre le trafic automobile et la croissance économique, l'avenir de la demande de transport est devenu incertain, et toutes les hypothèses doivent être envisagées de manière ouverte, de manière à détecter les « signaux faibles » susceptibles d'exercer une influence déterminante sur les comportements de mobilité dans les décennies à venir. Ce risque affecte potentiellement tout modèle de la demande, qui ne peut rendre compte intégralement de toute la complexité du réel, ni anticiper des ruptures susceptibles de remettre en question les relations qui sont à la base même du modèle.

Certains travaux mentionnés dans cette revue de la littérature sont antérieurs à l'apparition de l'idée du « *peak car* », et avaient anticipé une saturation possible de la demande dans le futur, ou ont mis l'accent sur certains phénomènes particuliers tels que la baisse du taux de détenteurs du permis de conduire chez les jeunes adultes. Plus récemment, une table ronde sur les tendances à long terme de la demande de transport, suscitée par le *Forum International des Transports (FIT)* et réunissant une cinquantaine de chercheurs et d'analystes du monde entier, s'est réunie à Paris en Novembre 2011 dans les locaux de l'OCDE. Les débats, structurés autour de quatre « *working papers* », ont été intégralement publiés en 2014. Dans le même temps, un numéro spécial de la revue « *Transport Reviews* », comportant huit articles, a été consacré au thème du « *peak car* ». Aussi bien les recherches isolées que coordonnées au sein de groupes de recherche internationaux sont présentées dans cette section. On y balaye les différentes explications mises en avant, en y rattachant les travaux correspondants.

Plusieurs auteurs, sur la base de méta-analyses de la littérature, relèvent que les explications avancées pour le « *peak car* » demeurent encore incertaines, compte tenu d'hypothèses multiples et pas toujours convergentes, et soulignent le besoin d'analyses et de recherches complémentaires, que ce soit au niveau national ou international, selon le contexte de l'étude (*Van den Waard et al., 2013 ; ITF, 2013*). *Goodwin (2013)* souligne qu'on peut en général distinguer deux grandes familles d'analyses, rattachées à des écoles de pensée différentes :

- La première est plutôt rattachée à la sphère gouvernementale des prévisionnistes de la demande de transport, et tend à expliquer la majeure partie des changements constatés par des facteurs économiques, en particulier par les prix des carburants, les revenus ainsi que les taux d'activité et d'emploi. Ce type d'analyses est par exemple représenté par les études du *BITRE (2012)* ou encore par les prévisions du *DfT (2013)*. Les prévisions obtenues à partir de modèles économiques diffèrent toutefois selon le degré de prise en compte du rôle des phénomènes de saturation de la demande. Par exemple, les prévisions du *BITRE*

intègrent l'hypothèse de seuils de saturation, contrairement à celles du *DfT* pour le Royaume-Uni ;

- La seconde école met l'accent sur une large gamme de facteurs culturels, sociaux et politiques, et sur l'existence de changements structurels à long terme dans les déterminants de la mobilité, avec des répercussions sur la trajectoire de croissance du trafic automobile. Par exemple, *ITF (2013)* relève que le ralentissement de la croissance démographique, le vieillissement de la population et l'augmentation des densités urbaines jouent un rôle essentiel, de même que les politiques publiques de planification, d'aménagement et de transport. La recherche pointe également des évolutions remarquables spécifiques à certains groupes de population, en particulier chez les jeunes adultes et notamment chez les jeunes hommes, ainsi que le rôle des moyens de communications électroniques (*Internet, smartphones...*) dans l'évolution des comportements. Enfin, les attitudes à l'égard des divers modes de transport sont susceptibles d'avoir changé, que ce soit sous l'impact de facteurs socioculturels (la voiture serait remplacée par les « *smartphones* » chez les jeunes, sensibilité environnementale) ou économiques (rationalisation des comportements induite par des contraintes budgétaires).

Goodwin (2013) remarque toutefois que ces deux écoles reconnaissent l'importance des facteurs économiques, aussi bien pour l'explication des différences dans les comportements de mobilité individuels que pour la croissance du trafic automobile à long terme. Cependant, dans la première, les facteurs économiques jouent un rôle prédominant, et l'évolution actuelle de l'usage de la voiture résulterait de conditions économiques temporaires particulièrement difficiles. *Puentes (2013)* indique par exemple une tendance à minimiser, voire à nier la réalité du recul de l'accès au permis de conduire et de l'usage de la voiture dans les milieux gouvernementaux américains, soutenant qu'il s'agit au pire d'erreurs de mesure, au mieux de phénomènes liés à la récession et qu'en cas de redémarrage de l'économie, les Américains reprendraient leurs habitudes de mobilité traditionnelles.

Dans la seconde école au contraire, ils cessent de jouer un rôle pivot, représentant seulement un jeu de facteurs parmi d'autres, culturels, sociaux, démographiques, spatiaux. *Goodwin (2013)* souligne la nécessité d'apporter une plus grande attention à ces autres facteurs, notamment du fait de la dé-corrélation constatée entre l'évolution du trafic et la croissance économique depuis le début de la décennie 2000, et de la temporalité du plafonnement de l'usage de la voiture qui précède largement la récession économique de 2008. Selon ces auteurs, les seuls facteurs économiques ne suffiraient donc pas à expliquer les tendances actuelles. Par exemple, *Puentes (2013)*, tout en reconnaissant que la récession américaine a sans doute un impact majeur dans l'explication de la baisse du trafic par personne aux Etats-Unis depuis 2007, suggère que les changements d'habitude de conduite résultent également d'évolutions conjointes dans les tendances démographiques, culturelles, technologiques, aussi bien que dans les choix résidentiels et les formes des nouveaux développements résidentiels dans les aires métropolitaines américaines.

Les évolutions actuelles soulèvent également des questions relatives au rôle des facteurs démographiques dans la croissance du trafic et à l'interprétation de cette relation. *Puentes (2013)* relève que pendant des années, la cause la plus évidente de la croissance du trafic automobile aux Etats-Unis fut la croissance démographique et l'augmentation du nombre de conducteurs. En se basant sur la relation historique entre le trafic automobile et la croissance démographique, les prévisions gouvernementales américaines anticipent donc une poursuite de la croissance du trafic automobile dans les décennies à venir (*Mc Clain et Pisarski, 2012*).

Goodwin (2013) relève que la plupart des recherches sur le plafonnement de l'usage de la voiture portent sur l'usage moyen de la voiture par personne ou par adulte, plutôt que sur le trafic automobile total, les auteurs émettant implicitement l'hypothèse d'indépendance entre le trafic moyen unitaire et le trafic total, qui seraient reliés seulement au travers de la croissance démographique. Il suggère toutefois que la croissance du trafic total n'est pas nécessairement proportionnelle à la croissance démographique, mais peut être modérée par la structure et la distribution spatiale de la population, qui ont des effets conjoints sur l'usage moyen de la voiture et le trafic total. La nature de la croissance économique et démographique, et non seulement son niveau, aurait donc également une influence sur le niveau de trafic futur. Ce point sera discuté plus en détail dans la suite de cette revue, notamment à propos des conséquences de la ré-urbanisation et de l'immigration au Royaume-Uni au cours de la précédente décennie.

Goodwin (2013) souligne en outre le besoin de resituer les considérations sur le « *peak car* » dans le cadre de la recherche méthodologique et empirique sur les déterminants de la demande de transport, de manière à prendre en compte les résultats de la littérature sur les élasticités de la demande, le trafic induit et/ou désinduit, ainsi que sur les effets des politiques publiques au sens large, que ce soit en matière d'infrastructures nouvelles ou de mesures de régulation de la mobilité. L'évaluation de l'impact des politiques destinées à réduire l'usage de la voiture revêt notamment une importance particulière, qu'il s'agisse de la tarification des infrastructures à l'usage, des mesures de circulation apaisée, des aménagements piétons et cyclables, des mesures tarifaires des transports publics, de la qualité de service, ou encore des documents de planification privilégiant la densification des zones urbanisées existantes sur leur extension.

Certaines explications avancées, comme le recul de l'auto-mobilité chez les jeunes, montrent la nécessité de focaliser l'attention sur certains groupes, qui contribuent davantage aux tendances globales que les autres. Toutefois, le recul de la conduite chez les jeunes adultes demande lui-même à être expliqué. Or, les causes avancées pour le recul de la mobilité chez les jeunes adultes sont plus ou moins les mêmes que celles qui sont proposées pour la tendance générale : facteurs économiques, lieux de résidence, attitudes, technologies de l'information. Deux explications spécifiques s'y ajoutent néanmoins, à savoir le décalage des étapes du cycle de vie dans les nouvelles générations - études plus longues, entrée plus tardive sur le marché du travail, fondation plus tardive et plus incertaine d'un ménage - et le durcissement des examens du permis de conduire dans de nombreux pays. On présente la littérature relative à ces explications complémentaires/concurrentes en s'efforçant, comme pour les explications de la tendance générale, de les hiérarchiser.

Bien que les explications proposées pour le « *peak car* » apparaissent très diverses, il semble possible, après examen, de les classer en sept familles. Nous les classons ici dans l'ordre des hypothèses qui nous paraissent les plus convaincantes et nous semblent représenter les pistes de recherche les plus prometteuses :

- (a) Les explications de nature économique : en premier lieu, l'augmentation des prix des carburants que l'on constate depuis le milieu des années 1990 mais surtout depuis la décennie 2000, que l'on décrira plus en détail dans la section II.2.a.3. Celle-ci s'accompagne d'une forte volatilité, et pourrait avoir suscité un effort de rationalisation de la part des ménages de manière à maîtriser l'évolution de ce poste budgétaire. Cette question est abordée dans la revue de la littérature sur le « *peak car* », mais sera traitée plus en détail dans la section suivante (*cf. section II.1.b*), dans laquelle on s'interroge plus généralement sur les modalités du processus d'ajustement des ménages aux évolutions de

prix des carburants, en partant de ce que la littérature nous dit sur ce sujet. Une autre explication de nature économique est la récession qui survient avec plus ou moins de retard dans l'ensemble des pays développés, faisant suite à la crise des « *subprimes* » en 2008. Celle-ci, néanmoins, survient après le « *peak car* », et ne saurait donc en constituer la cause première, mais pourrait par contre en avoir amplifié les effets. En outre, d'autres postes budgétaires associés à des dépenses contraintes ont fortement augmenté pendant la décennie 2000, notamment les prix des logements, suite à une embellie du marché de l'immobilier ;

- (b) Une deuxième explication, déjà suggérée dans le chapitre I, se rapporte à la notion de budget-temps, ou plus généralement à la volonté des ménages de maîtriser le temps quotidien qu'ils consacrent à leurs déplacements, de la même manière qu'ils s'efforcent de maîtriser leur effort budgétaire pour les dépenses de transport. L'allongement des distances et des durées de déplacements, notamment vers le travail, pourrait inciter les actifs à en réduire la fréquence. Certains résultats d'enquêtes semblent permettre d'étayer cette hypothèse. La diminution des retours au domicile pendant la pause méridienne, en particulier, semble pouvoir s'inscrire dans le cadre de cette explication. Les hypothèses (a) et (b) pourraient être synthétisées dans une notion de coefficient budgétaire généralisé, tenant compte à la fois des contraintes monétaires et temporelles ;
- © La saturation de la demande de transport - à la croissance démographique près. La croissance du trafic moyen par adulte serait ainsi limitée par les besoins de mobilité qui n'ont pas de raisons de croître indéfiniment. Des raisons à la fois théoriques et empiriques justifient ce point de vue, que l'on présente un peu plus loin. Il importe à ce stade de souligner que la notion de saturation est plurielle. Elle recouvre tout à la fois l'hypothèse de seuils de saturation dans les niveaux d'équipement des ménages, que l'on peut supposer par exemple à une voiture par adulte ou moins, et de limites à l'utilisation des véhicules, résultant soit de contraintes absolues, telles que le budget-temps que les individus peuvent consacrer à leurs déplacements, soit d'arguments de type « rendements marginaux décroissants », à savoir un déclin de l'utilité des déplacements supplémentaires. Les arguments généraux en faveur de l'idée de saturation de la demande sont en général convaincants. Toutefois, le fait que le plafonnement actuel de l'usage de la voiture représente l'atteinte d'un seuil de saturation est plus discutable ;
- (d) Le déclin de l'efficacité relative de la voiture en milieu urbain, résultant à la fois de difficultés croissantes de stationnement et de circulation – du fait de la progression du trafic, mais également en raison de politiques visant à dissuader le stationnement, à réduire les vitesses de circulation en agglomération, et à partager la voirie avec les autres moyens de transport, par exemple avec des voies réservées pour les bus et pour les cyclistes – et de l'amélioration quantitative et qualitative de l'offre alternative (tramways, vélos en libre service, zones piétonnes). Les politiques publiques de déplacements sont donc susceptibles d'avoir joué un rôle fondamental dans ces évolutions, compte tenu de leur réorientation consécutive aux protocoles de Rio et de Kyoto (1997). Cette hypothèse est directement liée à l'hypothèse (b). En effet, en cas de réduction de la vitesse réelle des déplacements en voiture, les temps de déplacements réels augmentent, ce qui incite les automobilistes à en réduire le nombre ;
- (e) Des effets de structure à long terme, tels que des évolutions dans la distribution spatiale des populations, en particulier les tendances à la ré-urbanisation et le dynamisme retrouvé – à la fois démographique et économique - des zones urbaines denses, ainsi que le vieillissement de la population. Ces tendances pèsent certainement sur les trajectoires à

long terme en contribuant à modérer l'augmentation de l'usage moyen de la voiture. Toutefois, il semble difficile d'y voir la cause de l'inflexion assez soudaine des comportements survenue au début des années 2000, compte tenu d'évolutions très progressives, lentes et régulières. La dégradation des temps de transport pourrait elle-même contribuer au regain d'attractivité des zones denses ;

- (f) Des changements dans le rapport à l'automobile, manifestés par les préférences, les attitudes et les opinions déclarées. Les individus seraient devenus plus « rationnels », plus multimodaux, plus attirés par de nouveaux objets technologiques tels que les « *smartphones* » et les tablettes tactiles – cet argument est fréquemment mis en avant pour expliquer la désaffection apparente des jeunes générations à l'égard de l'automobile – et plus sensibles à l'environnement. Différentes enquêtes permettent d'étayer cette hypothèse d'une évolution des mentalités. Toutefois, la question demeure posée du lien entre les opinions, les attitudes et les pratiques. Or, celui-ci est loin d'être évident, en raison notamment du manque d'alternatives crédibles dont disposent parfois les individus pour se déplacer au quotidien. Les pratiques, en effet, demeurent fortement déterminées par les contraintes et les besoins ;
- (g) Le rôle des technologies de la communication, qui contribueraient à réduire le besoin d'interaction physique pour certaines activités - télétravail, visioconférences, commerce électronique, réseaux sociaux - et par conséquent la mobilité. Bien que séduisante, cette hypothèse n'est dans l'ensemble pas validée par la littérature, qui montre que la relation entre communications électroniques et mobilité est plus complexe, l'accroissement de l'information et le renforcement des échanges étant notamment susceptibles de générer également des déplacements induits. En tout état de cause, ce sujet requiert davantage de recherche ;

On laisse de côté, pour l'instant, la question de la baisse de l'auto-mobilité chez les « jeunes adultes », dont on a fait une sous-section spécifique, compte tenu de l'importance de ce sujet dans la littérature. Les « jeunes adultes », en effet, apportent une contribution plus importante au recul de l'auto-mobilité que les autres groupes. En outre, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, la baisse de la mobilité chez les jeunes adultes ne constitue pas une explication suffisante, car nécessitant elle-même d'être expliquée. Une revue spécifique de la littérature, qui sera présentée dans la section II.1.c, permet déjà de se faire une idée des causes principales de ce phénomène.

Bien que nous présentions séparément chacune de ces explications, la plupart des auteurs (*par ex. Puentes, 2013*) s'accordent toutefois à considérer que les inflexions récentes des comportements de mobilité ne résultent pas d'un seul facteur, mais plus probablement d'une combinaison de facteurs convergents, manifestant peut-être un « changement de paradigme ».

II.1.a.1) Causes économiques : prix des carburants, récession de 2009, etc.

Parmi les explications avancées pour le plafonnement de l'usage de la voiture, celles de nature économique jouent certainement un rôle fondamental. L'une d'entre elles est que le plateau actuellement constaté pourrait constituer un palier temporaire, résultant de conditions économiques défavorables. Etant lié aux circonstances, il serait donc suivi d'une reprise de la croissance du trafic en cas de retour à des conditions plus favorables.

Parmi les explications avancées de nature économique, la plus courante est l'augmentation des prix des carburants que l'on constate maintenant depuis le milieu des années 1990, mais surtout depuis les années 2000 (*cf. section II.2.a.3*). Les prix, en effet, ont connu un premier pic en l'an 2000, suivi de répliques en 2006, 2008 et 2012, où ils ont atteint un record historique. De même aux Etats-Unis, *Puentes (2013)* relève que l'augmentation des prix des carburants a rendu la conduite plus chère, le coût d'un plein d'essence ayant doublé entre 2001 et 2011 en monnaie constante. Depuis le milieu des années 90, l'évolution des prix des carburants est caractérisée par une hausse tendancielle s'accompagnant d'une forte volatilité, qui peut s'expliquer notamment par l'intégration des matières premières et de l'énergie comme nouvelle source d'actifs par les opérateurs de marché institutionnels – banques, compagnies d'assurance, fonds de pension, fonds spéculatifs – à partir de la fin des années 90, entraînant une augmentation des volumes échangés sur les marchés et de la demande. Selon *Hivert et Madre (2012)*, la volatilité des prix des carburants est également entretenue par la perspective de plus en plus rapprochée du « *peak oil* », entraînant des anticipations des opérateurs de marché.

Juillard (2007) observe par ailleurs que depuis 1990 et surtout depuis 2004, les prix des carburants augmentent beaucoup plus vite que l'inflation générale. Pour faire face à cette augmentation, les ménages s'adaptent en réduisant leur consommation, et cela de deux manières, par l'acquisition de véhicules plus économes en énergie – à travers notamment la transition vers les motorisations *diesel*, relevée dans le chapitre I - mais aussi par la réduction des kilométrages parcourus. En effet, la hausse des prix des carburants n'est pas entièrement compensée par l'amélioration de la performance énergétique des véhicules, compte tenu d'une baisse faible des consommations unitaires (- 0,5 % par an pour les voitures essence et - 0,1 % par an pour les voitures *diesel*). L'amélioration des moteurs et de l'aérodynamique est en effet compensée par des véhicules de plus en plus lourds en raison des normes de sécurité, du développement de la climatisation, qui consomme beaucoup d'énergie, et de l'incorporation de biocarburants (*CGDD, 2012*). *Madre et al. (2013)* indiquent que les augmentations de prix des carburants aux environs de l'an 2000 jouent certainement un rôle dans l'explication du déclin de la croissance de l'usage de la voiture en France, tout en remarquant que dans le Grand Paris, le déclin de l'usage de la voiture a commencé bien avant l'an 2000, et plus tôt pour les ménages à hauts revenus.

Kemel et al (2010) et *Collet (2012)* montrent de plus que les ménages ne réagissent pas seulement au niveau des prix en termes absolus, mais que ces derniers sont également plus sensibles en cas de hausse prolongée des prix s'accompagnant d'une forte volatilité, ce qui correspond précisément à la situation que l'on observe depuis le début des années 2000. La plus grande sensibilité des ménages en cas de la volatilité des prix peut être interprétée comme un signe d'aversion au risque de la part des ménages, qui pénalisent une situation d'incertitude croissante (*Collet, 2012*). *Litman (2012)* souligne également que les élasticités de la circulation automobile aux prix des carburants étaient relativement faibles dans le dernier quart du vingtième siècle, mais qu'elles tendent désormais à se renforcer, les élasticités-prix ayant tendance à augmenter en périodes de prix élevés. D'une manière générale, ces analyses suggèrent que la manière dont les ménages interprètent l'information transmise par le « *signal-prix* » est plus complexe qu'une simple réaction mécanique de hausse de l'usage en cas de baisse des prix, et inversement. Il semble que l'information signifiante intègre à la fois le sens, l'intensité, la rapidité, la volatilité et la durabilité des variations de prix (*cf. section II.1.b.1*).

Nous avons de plus relevé, dans le chapitre I, que les individus n'avaient pas seulement réduit leur mobilité en voiture, mais également leur mobilité totale, en dépit d'une progression du recours à d'autres moyens de transport tels que les transports en commun, la marche et le vélo. Si on admet

que l'évolution des comportements a été principalement déclenchée par l'augmentation des prix des carburants, cette évolution devient compréhensible dans la mesure où les individus auraient réagi en réduisant leur mobilité en voiture de manière à maîtriser le budget qu'ils consacrent à leurs déplacements, mais n'auraient pas toujours été en mesure de compenser celle-ci par un recours accru aux autres modes, en particulier lorsque les alternatives à la voiture sont inexistantes ou peu efficaces. Les ménages peuvent en fait réduire l'usage de la voiture de différentes manières : soit en réduisant globalement leur mobilité, soit en ayant recours à d'autres modes, moins coûteux, tels que les transports en commun, soit en choisissant des lieux d'activité plus proches de leur domicile de manière à réduire les distances parcourues, soit encore en voyageant à plusieurs de manière à partager les coûts d'utilisation des véhicules, une pratique habituellement désignée sous le terme de covoiturage. La manière précise dont certains ménages ont réduit leur usage de la voiture demeure à ce jour inconnue, et devra faire l'objet d'investigations plus approfondies dans le cadre de recherches ultérieures.

Les prix des carburants jouent donc très certainement un rôle fondamental, sur lequel nous reviendrons tout au long de la thèse, et notamment dans la section II.1.b. Toutefois, d'autres éléments de contexte économique ont sans doute contribué à l'évolution des comportements, parmi lesquels la récession de 2008 (plutôt 2009 en France) faisant suite à la crise dite des « *subprimes* », l'évolution des inégalités, du taux de chômage, du poids des dépenses contraintes – notamment du logement – au sein des budgets des ménages, toutes évolutions qui ont pu contribuer à modifier les arbitrages budgétaires en défaveur de la mobilité. D'une manière générale, en effet, ces évolutions vont dans le sens d'un renforcement des contraintes financières (cf. section II.2.c.2). Or, une partie de la mobilité est soit non contrainte (déplacements de loisirs), soit réalisable par d'autres moyens, lorsque des alternatives existent. Compte tenu d'une part discrétionnaire, il est donc plus facile de réaliser des sacrifices sur les dépenses de mobilité que sur les dépenses de logement, par exemple, lorsque la nécessité l'impose. Le poste des dépenses de transport peut en effet être assimilé à une consommation supérieure et serait ainsi caractérisé par une plus forte élasticité-prix que d'autres postes de dépenses dont le caractère obligatoire réduit la flexibilité.

Cependant, l'augmentation tendancielle et la volatilité des prix des carburants ne constituent probablement pas les seules causes économiques du plafonnement de l'usage de la voiture. Leurs effets ont probablement été amplifiés, à partir de 2008, par la récession économique mondiale qui a suivi la crise financière dite des « *subprimes* ». Aux Etats-Unis par exemple, *Puentes (2013)* souligne que la récession a sans aucun doute entraîné des restrictions à la pratique de la conduite, à la fois en raison de l'augmentation du chômage, entraînant une réduction des déplacements pour motifs professionnels, dont les déplacements quotidiens vers le lieu de travail, et du fait de la diminution des revenus, qui entraîne une réduction des déplacements pour les motifs d'achats et de loisirs. Au Japon, *Hyodo (2012)* relève qu'une faible croissance, combinée à l'accroissement de la pauvreté et à des prix des carburants élevés, contribuent à expliquer le plafonnement de la mobilité. Ainsi, la crise économique semble avoir eu un impact sur les taux d'emploi des personnes en âge de travailler. Le taux d'emploi des femmes, dont la progression constituait jusque-là une des causes majeures de croissance de l'usage de la voiture, semble désormais marquer une pause dans certains pays. Aux Pays-Bas notamment, *Van den Waard et al. (2013)* observent que le taux d'activité des femmes s'est stabilisé autour de 60 % depuis 2007, tandis que pour les hommes il décroît légèrement. Ils observent également que chez les jeunes hommes, les distances parcourues liées au travail sont en diminution.

L'étude de *Cascajo et al. (2014)*, dans le cadre du projet *CIME*, fournit un exemple intéressant d'analyse de l'impact d'une crise économique majeure sur la mobilité et le budget des ménages, dans le contexte espagnol caractérisé par une dépression majeure, causée par la récession de 2008 consécutive à la crise des « *subprimes* », et aggravée par l'éclatement de la bulle immobilière espagnole et les mesures d'austérité drastiques imposées par la « *troïka* » (*BCE, FMI, UE*) à l'Europe du Sud. L'effondrement économique qui en a résulté a provoqué une baisse des recettes fiscales ainsi qu'une augmentation des déficits et de la dette publique, et un affaiblissement des services publics et du système de protection sociale. Au niveau macroéconomique, le PIB/habitant a diminué de 5 % entre 2008 et 2012, après un boom économique sans précédent de 53 % entre 2000 et 2012, et l'emploi a fondu de 20 %, de 21 à 17 millions entre 2007 et 2012, la baisse atteignant même 55 % dans le secteur de la construction. Le taux de chômage des jeunes adultes âgés de vingt à trente ans a triplé entre 2007 et 2012, atteignant 55 % chez les moins de 25 ans, soit plus de la moitié d'une génération, et plus de 30 % chez les 25-30 ans. Compte tenu de la baisse des revenus des ménages, le poste *logement* au sein du budget des ménages s'est fortement accru, passant du quart au tiers du budget moyen, et atteignant même 40 % chez les plus pauvres. Dans le même temps, le prix des transports a augmenté deux fois plus vite que l'indice général des prix à la consommation, avec des augmentations respectives de 13,9 et 7,3 % entre 2008 et 2012.

Les réactions à cet effondrement économique incluent une forte baisse de l'accès au permis de conduire - de - 40 % entre 2008 et 2010 - notamment en raison de la forte baisse des ressources financières des jeunes adultes, susceptible d'avoir des conséquences durables sur l'équipement automobile et la mobilité à plus long terme. Le marché des véhicules neufs s'est effondré, entraînant un vieillissement accéléré du parc automobile. Compte tenu de l'augmentation du poste *logement* au sein du budget des ménages, ces derniers ont été contraints à des arbitrages en défaveur des dépenses en transport, avec un recul de la dépense moyenne en transport de 4 870 à 3 810 € courants, et du taux d'effort transport de 15,4 à 13,5 %, d'après l'Enquête espagnole sur les budgets familiaux – *Encuestas de Presupuestos Familiares*. Paradoxalement, les ménages les plus aisés ont davantage réduit leurs dépenses de transport, ce qui s'explique par une structure de mobilité plus facilement compressible avec une part élevée de déplacements de loisirs et pour motifs non-contraints. De plus, les statistiques de trafic routier national et de fréquentation des transports collectifs urbains produites par le *Ministerio de Fomento*, indiquent une mobilité en baisse depuis 2007-08, le recul étant plus prononcé pour le trafic automobile qui décline de 12,6 % entre 2007 et 2012. D'une manière générale, les transports collectifs urbains résistent mieux que l'automobile, grâce au différentiel de prix avec la voiture. Toutefois, contrairement à ce qu'on observe pour la France, la baisse de la mobilité touche l'ensemble des modes, le report modal vers les transports urbains ne suffisant pas à compenser la baisse de fréquentation provoquée par l'appauvrissement des Espagnols. Par ailleurs, dans les agglomérations de Barcelone et Vitoria, on observe une progression des modes doux au détriment de la voiture aussi bien que des transports collectifs¹⁰.

Cependant, la récession constitue sans doute davantage un facteur d'amplification des tendances à la réduction de l'usage de la voiture plutôt qu'une cause première. Ainsi, *ITF (2013)* note que le ralentissement économique suivant la crise de 2008 a certainement eu un impact négatif sur

¹⁰ Toutefois, celle-ci est imputable en partie aux politiques publiques, et les changements de la mobilité dans l'agglomération de Barcelone, dynamique sur le plan économique, pourraient refléter moins les effets de la crise économique que le regain d'attractivité des modes actifs, notamment du vélo, au sein des couches socioprofessionnelles supérieures travaillant dans les grandes agglomérations, pour un usage destiné à la fois au travail et aux loisirs.

l'usage de la voiture, mais que celui-ci avait commencé avant la récession. De même, *Kuhnimof et al. (2013)* observent que le kilométrage moyen parcouru en voiture par adulte a commencé de décliner en 2005 aux Etats-Unis, donc avant le début de la crise financière, et qu'il n'est donc pas raisonnable d'attribuer le déclin de l'usage de la voiture entièrement aux conséquences directes et indirectes de la crise des « *subprimes* ». En revanche, il est très vraisemblable que le retournement économique de 2008 ait contribué à amplifier un déclin du trafic automobile déjà initié auparavant, sous l'impulsion d'autres facteurs. *Van den Waard et al. (2013)* soutiennent également que la crise économique et l'augmentation des prix des carburants n'expliquent pas entièrement le ralentissement de la croissance de l'usage de la voiture.

Certains auteurs suggèrent qu'au-delà du niveau de la croissance, sa nature joue également un rôle. Ainsi, *Puentes (2013)* soutient que le modèle américain de développement économique est en train de basculer d'une approche basée sur la consommation à une approche reposant davantage sur la production et les exportations. La croissance économique serait en outre davantage concentrée dans les aires métropolitaines que par le passé, et à l'intérieur de ces zones, davantage en cœur d'agglomération et moins souvent dans les zones périurbaines, ce qui contribuerait à ralentir la croissance de l'usage de la voiture ainsi qu'au déclin global de l'intensité transport de la croissance.

De façon similaire, *FIT (2011)* relève qu'au-delà de l'augmentation du niveau de vie moyen, l'évolution de la distribution des revenus pourrait également contribuer à expliquer la stagnation de l'usage moyen de la voiture par adulte, l'accroissement des inégalités impliquant qu'une large proportion de la population aurait cessé de bénéficier de l'augmentation du revenu moyen, freinant de ce fait la diffusion de l'automobile et la progression de son usage. Un même revenu moyen, en effet, peut correspondre à différentes distributions des revenus et par là-même à différents niveaux d'équipement automobile des ménages. Or, l'équipement automobile des ménages aussi bien que l'usage des véhicules sont susceptibles d'augmenter jusqu'à un certain niveau de revenu, puis de plafonner, en raison du déclin de l'utilité marginale des véhicules et des usages additionnels. Si les augmentations de revenus sont donc concentrées sur les couches sociales disposant déjà des revenus les plus élevés, elles ne contribuent donc plus à la croissance du trafic.

En outre, certains auteurs soulignent que l'augmentation du coefficient budgétaire des dépenses contraintes, l'intensification des rythmes de travail et l'allongement des distances et des durées de déplacements entre le domicile et le lieu de travail, dans des conditions de mobilité dégradées, exercent conjointement une pression modératrice sur la mobilité des classes moyennes. Ainsi, *Bigot (2009)* relève que le poids des dépenses contraintes augmente, pesant sur le budget que les ménages peuvent consacrer à leur mobilité. Il observe qu'en France, une personne sur deux vit aujourd'hui avec moins de mille-cinq-cents euros (1 500 €) par mois après impôts. Or, ces personnes doivent faire face à des dépenses contraintes ou « pré-engagées » augmentant plus vite que leur revenu, telles que le logement, l'électricité et le gaz, qui représentent 38 % de leurs dépenses en 2006 contre seulement 21 % en 1979, d'après les enquêtes *Budget des Familles* de l'INSEE. Celles-ci peuvent contraindre une partie des ménages à effectuer des sacrifices sur leur mobilité, en particulier sur leurs déplacements non-contraints tels que par exemple les déplacements pour les vacances.

II.2.a.2) La volonté de maîtriser l'évolution des budgets-temps de transport

Une deuxième famille d'explications se rapporte à la notion de budget-temps de transport, et plus généralement à la volonté de maîtriser l'évolution du temps quotidien consacré à se déplacer. Plusieurs analyses de la littérature (*Zahavi, 1974 ; Marchetti, 1994 ; Metz, 2013*) suggèrent en effet que le temps que les individus consacrent en moyenne quotidiennement à se déplacer présente les caractéristiques d'un « invariant anthropologique », qui demeure plus ou moins toujours le même, quels que soient l'époque et le lieu, et se situerait aux alentours d'une heure par jour. Par exemple aux Pays-Bas, *Van den Waard et al. (2013)* relèvent que la population néerlandaise consacre chaque jour une heure à ses déplacements en moyenne en 2009, dont un peu plus d'une demi-heure en voiture, un temps qui n'a pas significativement évolué depuis 1995. De même en France, les Enquêtes Nationales Transport tendent à corroborer cette hypothèse, avec un temps moyen de déplacement quotidien estimé à cinquante-cinq minutes par jour, un chiffre qui a peu évolué au cours des enquêtes successives menées depuis les années 1960. Cette stabilité peut s'expliquer par le fait que le temps de transport est un temps interstitiel, contraint par l'ensemble des activités que les individus réalisent, et qui demeurent plus ou moins toujours les mêmes dans leurs fonctions essentielles – travailler, se nourrir, se soigner, faire ses achats, accompagner les enfants à l'école, etc. Par analogie avec le coefficient budgétaire des transports, on peut parler de budget temporel consacré au transport ou de « budget-temps ». En supposant que le budget-temps demeure constant, les individus chercheraient alors à compenser une dégradation éventuelle de leurs temps de parcours par une réduction de leur nombre, tout comme ils cherchent à compenser l'augmentation du coût d'usage des véhicules par une diminution des kilométrages parcourus.

Or, un certain nombre de données suggèrent un allongement des temps de transport depuis une quinzaine d'années, l'allongement des distances de déplacements n'étant plus compensé par l'accroissement des vitesses. Les raisons de l'augmentation des distances entre le lieu de résidence et les lieux d'emploi sont notamment liées à l'extension des bassins d'emploi résultant de la hausse des niveaux de qualification et de l'hyperspécialisation de l'économie – en effet, des compétences plus spécialisées impliquent une prospection plus large au plan géographique, moins orientée vers les bassins d'emploi de proximité – ainsi qu'à la fragilité croissante des situations professionnelles qui peuvent contraindre, en cas de perte d'emploi ou de restructuration d'un service, par exemple, à chercher un nouveau lieu d'emploi plus éloigné de son lieu de résidence (*Cascajo et al., 2014*). Dans le même temps, l'accès à la propriété et la fondation d'une vie de famille impliquent une immobilité résidentielle en raison des durées d'emprunts contractés pour l'acquisition de la résidence principale, mais aussi de l'enracinement social local et de la scolarisation des enfants. L'injonction à la mobilité professionnelle (*Boltanski et Chiappello, 1999*), combinée avec une certaine viscosité du lieu de résidence, soumet les individus à une « double contrainte », qui est souvent résolue – de manière très imparfaite – par une augmentation des distances. Celle-ci s'accompagne fréquemment d'un report vers d'autres modes de déplacements, en particulier le transport ferroviaire (TER), qui permet de diminuer la fatigue liée aux déplacements, d'autant que celui-ci a bénéficié d'importantes améliorations dans le cadre de contrats entre les régions, l'Etat et l'opérateur ferroviaire national.

Cette évolution pourrait avoir incité un certain nombre d'entre eux à réduire leur mobilité pour maîtriser leur budget-temps de transport quotidien. Ainsi en France, *Hubert et al. (2013)* montrent qu'une partie de la baisse de la mobilité quotidienne en France résulte du recours croissant à la restauration collective dans les grandes agglomérations, qui permet aux actifs de n'effectuer qu'un seul aller-retour quotidien entre le domicile et le lieu de travail. En 2008, 71,4 % des actifs ayant

un lieu de travail fixe et régulier n'effectuaient plus qu'un seul aller-retour quotidien, alors que cette proportion n'était que de 62 % en 1994 et de 57 % en 1982 (*François, 2010*). Par ailleurs, d'après le panel *ParcAuto*, la fréquence moyenne des déplacements domicile-travail en voiture a diminué de 1,3 déplacement quotidien par personne en 1990 à 1,2 en 2013. Ce recul est particulièrement important pour les résidents des zones peu denses au voisinage d'une commune dense. L'évolution des rythmes professionnels et scolaires est également mise en avant par l'*ADEUS (2010)* qui observe une part croissante de personnes pratiquant la journée continue dans l'agglomération de Strasbourg, expliquant 20 % de la baisse de la mobilité entre 1997 et 2009. Parallèlement, selon *De Solère et al. (2012)*, le taux d'actifs travaillant toute la journée et rentrant chez eux lors de la pause méridienne décroît de 31 à 23 % à Lille entre 1998 et 2006, et de 24 à 18 % à Lyon entre 1995 et 2006.

Il est intéressant de remarquer que dans l'agglomération de Strasbourg, le temps moyen d'un déplacement a augmenté de + 14,9 % entre les EMD de 1997 et 2009, tandis que le nombre moyen de déplacements quotidiens reculait dans des proportions équivalentes, de - 14,6 % environ, de sorte que le budget-temps quotidien est demeuré quasiment constant, baissant de seulement - 1,6 % au cours de cette période (*ADEUS, 2010*). Ces résultats confortent l'hypothèse d'une volonté de maîtrise du budget-temps quotidien de transport, dans un contexte d'allongement des temps de déplacements résultant lui-même d'une dégradation des vitesses. Par ailleurs, la pratique de la « journée continue » est davantage privilégiée parmi les habitants de l'agglomération parisienne, qui sont trois fois moins nombreux qu'en province à pratiquer deux allers-retours quotidiens. Or, les Franciliens ont également la particularité d'avoir des durées de déplacements plus élevées que la moyenne – cf. chapitre I - ce qui tend à nouveau à corroborer l'hypothèse d'une volonté de maîtrise du budget-temps.

Ce phénomène se conjugue avec la part croissante de salariés travaillant à temps partiel et avec l'impact des mesures de réduction du temps de travail mises en œuvre depuis 2002. Celles-ci, en effet, se sont traduites à la fois par une augmentation du nombre de journées non travaillées, en particulier le Vendredi – par exemple, à Lille, les proportions d'actifs à temps plein et à temps partiel ne travaillant pas le Vendredi ont progressé respectivement de 15 à 21 % et de 19 à 27 % (*De Solère et al., 2012*) - mais aussi du temps de travail des journées travaillées (*ADEUS, 2010*). Ainsi, *De Solère et al. (2012)* mettent en évidence une augmentation du temps passé par les élèves scolarisés sur leur lieu d'études, de respectivement + 5 mn à Marseille et + 17 mn à Strasbourg un jour de semaine. La réduction du temps de travail mise en œuvre depuis 2002 exerce également une influence sur l'organisation du temps libre des actifs.

Il est probable que l'ensemble des individus, confrontés à une dégradation de leurs temps de transport et à l'allongement des journées de travail, s'efforcent de maîtriser leurs budgets-temps par une réduction du nombre de leurs déplacements, lorsque ces derniers ne sont pas strictement nécessaires. C'est le cas en particulier des déplacements de retour au domicile lors de la pause méridienne. Or, ainsi que l'observent *Hubert et Delisle (2013)*, la mobilité régulière lors de la pause méridienne, qu'ils dénomment « mobilité régulière supplémentaire » ou MRS, n'est en rien nécessaire à l'activité de travail ou d'étude. Par conséquent, il est logique que les individus renoncent prioritairement à effectuer ces déplacements en cas d'accroissement des contraintes temporelles ou monétaires. Les déplacements vers le travail, en effet, sont les plus longs et les plus coûteux en temps, et continuent de s'allonger, notamment en raison des tensions sur les prix immobiliers qui conduisent les ménages à s'éloigner de plus en plus du cœur d'agglomération. Cependant, une part croissante des déplacements effectués par les résidents des espaces périurbains sont des déplacements internes aux couronnes périurbaines plutôt qu'en direction des

pôles urbains, ce qui s'explique notamment par le desserrement des emplois. De ce point de vue, la contrainte temporelle tend sans doute à se renforcer davantage pour les habitants des zones densément urbanisées en raison de conditions de transport dégradées, tandis que la circulation est moins congestionnée dans les secteurs peu denses et les vitesses de déplacements plus élevées.

Des arguments analogues peuvent également être avancés pour d'autres inconvénients du transport, tels que le coût en termes de fatigue physique et psychologique induite, par exemple, en supposant que ces « coûts » sont commensurables avec les coûts monétaires, ce qui constitue généralement l'approche de la monétarisation des externalités du transport. Or, *Le Breton (2008)* montre que l'organisation de la vie quotidienne au niveau des déplacements vers le travail devient de plus en plus difficile, avec d'importantes répercussions négatives sur la santé, la qualité de vie et la vie de famille. En effet, la portée des déplacements vers le travail s'étendant sans cesse, ces derniers deviennent de plus en plus coûteux, non seulement sur le plan monétaire, mais aussi en temps et en énergie. De ce fait, de nombreux salariés ne parviennent plus à concilier le temps du travail et de la famille, tandis que d'autres sont contraints par les prix immobiliers à habiter très loin de leur lieu de travail.

Globalement, le renforcement des contraintes temporelles et du stress dans les transports, combinés avec les augmentations de prix des carburants peuvent avoir suscité une volonté de rationaliser l'usage de la voiture dans une partie de la population, au moyen d'un rapprochement entre le domicile et le lieu de travail, du renoncement à certains déplacements ou encore du choix de lieux d'activités plus proches du domicile. En combinant ces différents niveaux d'explication en termes de coûts de la mobilité au sens large, non seulement monétaires mais également temporels et psychiques, les comportements de réduction de la mobilité, et en particulier de la mobilité en voiture, seraient susceptibles de recevoir une interprétation modélisable à travers la notion de budget-temps généralisé de la mobilité, représentant le consentement des individus à supporter l'ensemble des coûts qui y sont associés. En effet, bien que les causes mentionnées jusqu'à présent soient diverses, de l'allongement des durées des journées travaillées à la dégradation des conditions de circulation et de stationnement en passant par l'augmentation des prix des carburants, elles renvoient toutes, à l'exception des facilités offertes par la restauration collective sur le lieu de travail, à l'idée d'un renforcement des contraintes associées à la mobilité. Cette interprétation, en particulier, outre le fait qu'elle s'accorde bien avec les faits, présente l'avantage de ne pas impliquer l'hypothèse d'une « rupture » des comportements, impliquant seulement une reformulation appropriée de la « loi » qui les régit.

D'une manière générale, tout se passe donc comme si les individus s'efforçaient, dans un contexte de plus en plus contraint, de maîtriser autant que possible les coûts budgétaires, monétaires et psychiques de la mobilité. Tant que les vitesses de déplacements progressaient, les gains de vitesse étaient mis à profit pour parcourir une distance quotidienne plus élevée dans le cadre du même budget-temps. Depuis que les vitesses stagnent ou régressent, les individus s'efforceraient de maîtriser le temps quotidien qu'ils consacrent à leurs déplacements. Pour cela, il leur est nécessaire de stabiliser ou de réduire la distance quotidienne parcourue. Cet objectif peut être atteint de deux manières différentes : soit en réduisant les distances des déplacements quotidiens, soit en réduisant leur nombre. Cependant, la première stratégie est difficile à mettre en œuvre, en particulier pour les déplacements contraints. Par exemple, réduire la distance des déplacements vers le travail implique soit de changer de lieu de travail, soit de changer de lieu de résidence, des projets qui ne peuvent être mis en œuvre qu'à long terme et sont contingents à certaines contraintes extérieures : trouver un emploi plus proche du domicile, trouver un logement dont la

localisation convienne compte tenu des lieux d'emplois respectifs des conjoints, etc. A l'inverse, réduire le nombre de déplacements est une stratégie plus facile à mettre en œuvre, compte tenu de l'existence de certains déplacements « inutiles » ou en cas qui ne sont pas absolument indispensables, comme par exemple les retours au domicile lors de la pause méridienne. Ces hypothèses comportementales nécessiteront toutefois des recherches plus approfondies.

II.1.a.3) L'hypothèse de saturation de la demande

L'une des explications possibles au plafonnement de l'usage de la voiture est que celui-ci reflète l'atteinte d'un niveau de saturation de la demande de transport, et en particulier de la demande de transport automobile. Les idées de saturation de la demande sont assez anciennes et sont justifiées à la fois par des constats empiriques et des arguments théoriques. De plus, les approches théoriques diffèrent elles-mêmes assez nettement au niveau de leurs fondements. On présente tout d'abord les approches empiriques de l'idée de saturation, avant de présenter les arguments de nature plus théorique qui permettent de la justifier¹¹.

Approches empiriques

Observons en premier lieu que l'idée d'une convergence vers un seuil de saturation asymptotique est soutenue par de nombreuses études économétriques appliquées, qui soulignent la baisse tendancielle des élasticités au revenu du trafic automobile au fil du temps, ainsi qu'en fonction des niveaux de revenu et d'usage de la voiture déjà atteints (Pendyala *et al.*, 1995 ; Dargay et Gately, 1997 ; Goodwin *et al.*, 2004). Plus récemment, divers auteurs (Goodwin, 2013 ; Millard-Ball et Schipper, 2010) relèvent que l'usage de la voiture plafonne au-dessus d'un certain niveau de revenu par habitant dans les économies développées. Aux Etats-Unis, cette tendance est clairement visible (ITF, 2013). Un résultat particulièrement intéressant noté par Stokes (2012), en s'appuyant sur l'Enquête Nationale Transport du Royaume-Uni, est que l'usage de la voiture diminue plus fortement chez les hommes les mieux dotés financièrement, tandis qu'il augmente encore chez les plus modestes, ce qui entraîne une réduction relative des inégalités sociales en matière d'auto-mobilité. Ce résultat suggère que les couches sociales supérieures tendraient à développer un style de vie moins dépendant de l'automobile, qui semble cohérent avec le regain d'attractivité observé dans les zones les plus densément urbanisées depuis le début des années 1990. L'usage de la voiture tendrait donc à plafonner, ou du moins à ralentir, au-delà d'un certain niveau de vie, et pourrait converger vers un seuil de saturation. Toutefois, il existe différentes manières de justifier ce ralentissement, sur lesquelles nous reviendrons par la suite.

Diverses approches empiriques ont été développées pour traiter de possibles phénomènes de saturation. Goodwin (2013), dans l'article introductif présenté pour la table ronde du Forum International des Transports sur les tendances à long terme de la demande qui s'est tenue à Paris en Novembre 2011 (faisant suite à des séminaires périodiques organisés par la CEMT à Berlin en 1995, Innsbruck en 1997, Turin en 2000, Bruxelles en 2002...), observe que l'idée de saturation de la circulation et du parc automobile a existé depuis les origines des modèles de prévision de trafic. Au Royaume-Uni, celle-ci fut notamment utilisée dans le cadre de la méthode de Tanner et des travaux du *UK Road Research Laboratory*. Dans cette méthode, les seuils de saturation étaient déterminés par différents facteurs tels que le prix et la qualité du transport public, les tendances démographiques et les politiques d'aménagement, généralement par extrapolation sur la base de données transversales. La génération de modèles de prévision développés dans les années 1950-

¹¹ Une discussion plus complète de l'idée de saturation est proposée en annexe 4.

60 au Royaume-Uni accordait une large place à cette idée, et ont connu leur point culminant dans les années 70 avec les travaux de *Tulpule (1973)*. Dans ces modèles, la vitesse de convergence vers le seuil de saturation était supposée dépendre de variables économiques, dont en particulier l'évolution des revenus et des prix des carburants. *Goodwin (2013)* observe que les prévisions de trafic de *Tulpule (1973)* offrent la possibilité de tester la validité des prévisions de long terme obtenues en les comparant rétrospectivement aux observations. Or, il s'avère que les prévisions obtenues sont remarquablement exactes, bien davantage que les prévisions faites ultérieurement à partir d'outils plus sophistiqués, et permettent d'anticiper le ralentissement du trafic automobile observé au Royaume-Uni à partir du début des années 90¹². Toutefois, la méthode de *Tanner* fut abandonnée dans les années 80 car elle tendait à l'époque à surestimer la croissance du trafic, et ne permettait pas bien de rendre compte des fluctuations causées par les évolutions de prix des carburants.

Un autre exemple d'approche empirique est constitué par une étude australienne récente, de *Gargett (BITRE, 2012)*, basée sur l'utilisation de séries temporelles pour estimer des seuils de saturation spécifiques dans vingt-cinq pays, dans laquelle le seuil de saturation du trafic automobile moyen par habitant n'est pas dérivé d'un argument externe, mais estimé empiriquement à partir de la trajectoire des séries. Les résultats suggèrent que pour la plupart des pays étudiés, les niveaux de saturation ne seraient que légèrement supérieurs aux niveaux actuels, avec toutefois une plage de variation considérable allant de 8 000 à 12 000 km par adulte, à l'exception des Etats-Unis pour lesquels le plafond se situerait plutôt aux alentours de 18 000 km par adulte. *Goodwin (2013)* observe cependant qu'il ne semble pas que la trajectoire américaine doive être suivie par les autres pays. Selon cette étude, qui mixe l'approche de la saturation avec la sensibilité aux facteurs économiques, le plafonnement actuel de la circulation résulterait donc d'une combinaison de facteurs structurels et conjoncturels. Ce type d'approches est néanmoins problématique dans la mesure où l'évaluation du seuil de saturation risque d'être biaisée par le plafonnement actuel, conduisant à l'interpréter, peut-être à tort, comme un effet de la saturation.

Les articles de *Grimal et al (2013)* et de *Collet et al. (2013)* fournissent des exemples d'approches analogues, dans lesquelles les niveaux de saturation sont supposés dépendre des revenus, des prix des carburants et de la densité de population. Ils montrent, à partir de courbes de *Chapman-Richards*, que les seuils de saturation du nombre de voitures par adulte et du kilométrage annuel parcouru en voiture par ménage se situeraient respectivement aux alentours de 0,76 et 16 200 km pour la France entière si les prix réels du carburant demeuraient à leur niveau de 2010. Par ailleurs, le kilométrage par adulte continue de croître pour les ménages modestes, mais semble atteindre un seuil de saturation dans le quartile supérieur de revenu. Ces résultats suggèrent, plutôt qu'une saturation générale de la demande, l'atteinte d'un équilibre contingent, dans lequel l'utilisation de la voiture est encore entravée par le manque de ressources financières (*Collet et al., 2013; Grimal et al., 2013*). Cet équilibre est susceptible de se modifier en cas d'évolution générale des niveaux de vie et de leur distribution, ou encore en cas d'évolution des prix des carburants. L'utilisation de la voiture ralentit également sa progression dans les espaces d'urbanisation diffuse, tandis qu'elle décline dans les zones plus denses. Les niveaux de saturation sont enfin atteints à différentes périodes : plus tôt dans les villes-centres, ensuite dans les banlieues et enfin dans les zones de faible densité. Dans l'analyse de *Collet et al. (2013)*, l'Ile-de-France est mise en perspective, étant le théâtre d'une saturation précoce en raison d'une diffusion plus ancienne de

¹² Toutefois, il remarque également que la justesse des prévisions d'un modèle ne suffit pas en soi à démontrer la validité des relations qui sur lesquelles il s'appuie, car elle peut résulter d'erreurs qui se compensent. Un autre argument de nature plus générale est que plusieurs modèles basés sur des explications concurrentes pourraient aussi bien rendre compte des observations.

l'automobile, suggérant qu'elle pourrait être annonciatrice des tendances à venir pour le reste du territoire. L'utilisation de la voiture a en effet plus de chances de saturer d'abord dans les zones où elle s'est d'abord développée, à savoir dans les zones denses. Les niveaux de saturation devraient aussi dépendre du niveau de dépendance automobile, qui est plus élevé dans les zones d'urbanisation diffuse, incluant les communes périurbaines et les communes de l'espace à dominante rurale.

Dans les deux derniers exemples, l'hypothèse de la saturation est envisagée conjointement avec l'action de facteurs économiques. Ces derniers sont en effet nécessaires pour interpréter les tendances dès lors qu'on les analyse sur une base désagrégée. En effet, l'hypothèse d'une saturation générale de la demande s'accorde mal avec le constat d'une stabilisation qui s'effectue selon des seuils très hétérogènes selon le niveau de vie, l'utilisation de la voiture demeurant encore nettement en retrait dans le quartile inférieur (*Collet et al., 2013*). De ce fait, l'étude précédente ainsi que celles de *Grimal et al. (2013)* et de *BITRE (2012)* considèrent que le plafonnement de l'utilisation de la voiture résulte d'une combinaison de facteurs structurels et conjoncturels.

D'autres types de modélisation ont prévu, dès les années 1990, la possibilité d'une saturation structurelle de la demande automobile. C'est le cas en particulier des modèles dits « démographiques »¹³ ou « âge-cohorte », dans lesquels les comportements de mobilité sont décrits par des effets d'âge et de génération. Ces modèles représentent une catégorie particulière de modèles d'analyse de la variance, dans lesquels on suppose que la croissance de la demande s'explique par des effets de structure, les générations peu motorisées étant progressivement remplacées par des générations plus motorisées. Une modélisation des comportements par âge et génération permettait de prévoir un déclin de l'usage de la voiture à partir de la décennie 2000, en raison de l'homogénéisation progressive des taux de motorisation dans les générations encore en vie – dans le modèle par cohortes, ce sont principalement les différences permanentes de comportements entre cohortes qui expliquent la croissance du nombre de voitures et du trafic par adulte - et du recul de l'usage de la voiture à la retraite, suite à la disparition des déplacements

¹³ Ce n'est qu'improprement que ces modèles sont appelés « démographiques ». Ils reposent, en réalité, sur une représentation des comportements par « cohortes », combinée avec des projections démographiques, sans toujours expliquer précisément ce que recouvrent les effets de génération. En raison de cette faiblesse, les modèles générationnels encourent le risque d'être considérés comme des modèles descriptifs plutôt que comme des modèles explicatifs. Cette explicitation est du reste difficile car les effets de génération recouvrent vraisemblablement une multitude de phénomènes en interaction plutôt que des influences séparées, qui contribuent à la formation d'habitudes pendant la prime jeunesse, habitudes qui perdurent ensuite tout au long de la vie. Cette question sera discutée de manière plus détaillée lorsque nous aborderons les facteurs de la diffusion de l'automobile (*cf. section II.2.b, puis chapitre III*) : de notre point de vue, les effets de génération en matière de motorisation synthétisent une interaction entre des évolutions sociétales (émancipation et travail des femmes) l'évolution des formes urbaines (urbanisation de plus en plus diffuse) et celle des conditions économiques (élévation du pouvoir d'achat, augmentation du nombre d'actifs par ménage). La notion d'interaction est fondamentale dans la mesure où un seul facteur ne suffit pas en général à provoquer le changement : par exemple, une augmentation des besoins ne suffit pas à susciter une croissance effective de la mobilité, si elle ne s'accompagne pas d'un relâchement des entraves éventuelles à leur manifestation (diffusion du permis de conduire, évolution des mentalités, augmentation des ressources financières). En dépit de leurs inconvénients, les modèles de comportements par cohortes permettent toutefois mieux de rendre compte de la croissance à long terme du trafic automobile que des modèles purement économiques, qui ne prennent en compte que des facteurs externes agissant simultanément sur l'ensemble des ménages, mais échouent dans une large mesure à capter l'hétérogénéité des comportements, en particulier celle qui résulte des effets de génération.

professionnels¹⁴. *Madre et al. (1996)* et *Madre et al. (2013)* annonçaient ainsi un retournement de tendance à Lille pour l'équipement automobile et l'usage de la voiture pendant la décennie 2000, et l'atteinte de la saturation dans la région de Montréal dès le milieu des années 90, du fait de la diffusion plus précoce de l'automobile en Amérique du Nord. D'autres exercices du même type conduisent à des résultats similaires (*Berri, 2009; Dejoux et al., 2010*).

La situation est assez différente dans les pays émergents tels que le Mexique, où on peut supposer une croissance encore dynamique de l'auto-mobilité pendant vingt à trente ans, les niveaux de motorisation demeurant à ce stade encore nettement en retrait par rapport à ceux que l'on observe dans les pays développés. Toutefois, dans les pays émergents également, le modèle âge-cohorte permet d'anticiper un retournement de tendance vers 2030. On peut également supposer que les niveaux de saturation dans les pays émergents seront inférieurs à ceux des pays développés, compte tenu d'une part des trajectoires de croissance des niveaux de vie qui ne parviendront probablement pas à rattraper d'une manière générale ceux des pays anciennement industrialisés, d'autre part de l'intégration progressive des objectifs de développement durable, qui devrait être rendue politiquement et socialement plus acceptable, à mesure que les niveaux de vie s'élèveront (*Madre et al., 2013*).

Un des gros avantages de ces modèles réside dans le fait qu'ils tiennent compte d'effets de structure et de l'hétérogénéité des comportements individuels et en particulier des effets de cohortes, ce que ne permettent pas des analyses économiques à partir de séries temporelles, ou même des analyses sur la base de données d'enquêtes transversales, dans lesquelles il n'est pas possible de dissocier les effets d'âge des effets de génération (*cf. section II.3.c.6*). Ils permettent en outre d'endogénéiser l'historique de la formation des comportements, ce en quoi ils constituent une approche moins fruste que la notion d'équilibre général de la demande, qui est critiquée notamment dans *Goodwin (1987)*. Les prévisions s'appuient par ailleurs sur des projections démographiques à long terme¹⁵ qui sont assez robustes, en raison de la forte inertie des phénomènes démographiques. Dans l'application qui en est faite, les évolutions projetées reposent sur l'observation factuelle des comportements, davantage que sur des hypothèses de saturation *a priori*. C'est en ce sens que cette approche est qualifiée d'empirique. Cette particularité est présentée comme un avantage, notamment dans *Madre et al. (1996)*, dans la mesure où les projections s'avèrent d'autant plus robustes qu'elles recourent à un moins grand nombre d'hypothèses, celles-ci étant nécessairement incertaines. Cependant, cette situation est intellectuellement insatisfaisante, dans la mesure où on est incapable d'expliquer pourquoi le seuil de saturation se situe précisément au niveau observé plutôt qu'à un autre. De plus, l'existence d'effets de génération, qui servent au calage du modèle, ne sont eux-mêmes que partiellement expliqués. Bien que leur prise en compte s'avère indispensable au point de vue empirique, la recherche d'une meilleure compréhension de ces effets semble donc nécessaire.

Arguments théoriques

Parallèlement aux approches empiriques, l'idée de saturation repose aussi sur des arguments de nature plus théorique. Au-delà des constats et des modèles qui permettent d'en rendre compte, la

¹⁴ Même si les dernières générations de retraités ont pu compenser cette baisse par une progression de leur mobilité de loisirs.

¹⁵ L'utilisation de ces modèles en projection implique néanmoins de formuler des hypothèses sur les comportements des générations à venir, qui ne sont pas encore observés lors du calage du modèle. Par exemple, on peut reproduire l'écart entre les dernières générations observées sur les générations suivantes. La formulation de ces hypothèses revêt une importance cruciale et peut être articulée à une réflexion prospective.

question qui se pose est en effet de savoir pourquoi la demande sature, ou devrait saturer à long terme. Une première catégorie d'arguments peut se rapporter à l'idée générale selon laquelle « *les arbres ne montent jamais jusqu'au ciel* ». Une manière simple de décomposer le trafic automobile consiste à considérer qu'il résulte, d'une part de la diffusion des véhicules à un niveau qui doit être précisé – individu ou ménage – d'autre part de l'évolution des distances parcourues, respectivement par les individus ou les ménages. En effet, l'utilisation des véhicules par les ménages présente le caractère d'une variable censurée, plutôt que d'une variable continue¹⁶. En supposant que le kilométrage moyen parcouru par les ménages motorisés soit constant, l'augmentation de la proportion de ménages motorisés entraîne alors une augmentation du kilométrage moyen par ménage. Cette décomposition naturelle et intuitive est présentée par exemple par *Graham et Glaister (2004)*, proposant une approche compréhensive des trafics automobiles et du rôle des facteurs de revenus et de prix dans leur formation. Mais l'augmentation du trafic automobile résulte également de celle du kilométrage par véhicule, dont les causes sont elles-mêmes multiples : dissociation croissante des lieux de résidence, des lieux d'emploi et des lieux d'activités, augmentation de la fréquence des déplacements de loisirs et à longue distance (*cf. chapitre I*).

On a de bonnes raisons de penser que cette croissance a des limites, tant pour la diffusion de l'automobile que pour son usage, la détermination précise de cette limite étant toutefois moins évidente qu'elle n'y paraît. Ainsi, à l'origine, la voiture était conçue comme un équipement de niveau ménage, de sorte que la diffusion de l'automobile était aussi évaluée à travers la notion de taux d'équipement des ménages, un ménage étant considéré comme « équipé » dès lors qu'il disposait d'une voiture. Dans ce contexte, il apparaissait logique de considérer que la saturation serait atteinte dès lors que chaque ménage serait équipé d'un véhicule, comme dans les travaux de *Tulpule (1973)*. Sur la base de l'analyse des facteurs économiques ou démographiques de la diffusion de l'automobile, il était ainsi possible de prévoir la période et le seuil où devrait survenir la saturation. A présent, on expose les différents arguments avancés pour justifier l'idée de saturation, en les rapportant, soit au processus de diffusion de l'automobile, soit à la question de l'usage des véhicules. Le premier argument est basé sur la notion de processus de diffusion d'un bien durable, le second sur la notion de budget-temps, le troisième sur l'idée des rendements marginaux décroissants. Enfin, on présente un dernier argument général basé sur l'idée d'une régulation amont de la demande par la capacité de l'offre.

Bien que basées sur des arguments de nature différente, l'ensemble de ces approches soulève toutefois une question commune, celle de la détermination du seuil de saturation. Théoriquement, on pourrait par exemple supposer que la saturation survient lorsque chaque individu est équipé d'un véhicule personnel. Toutefois, par rapport à ce processus théorique, il semble plus réaliste d'admettre que la diffusion de l'automobile s'interrompra « avant terme », car il subsistera toujours des entraves à une diffusion « complète » de la voiture, qu'elles soient liées aux incapacités physiques de conduire avec l'avènement du grand âge ou à des handicaps, aux difficultés de stationnement et de circulation dans les grandes métropoles, à l'absence de

¹⁶ La notion de variable censurée sera présentée dans la section III.2 consacrée à la modélisation de l'auto-mobilité. Elle exprime le fait que les valeurs prises par une variable ne représentent pas un continuum. Au lieu de cela, on peut distinguer deux sous-ensembles : les ménages motorisés, pour lesquels l'utilisation des véhicules représente une variable continue distribuée selon une certaine loi au sein de la population ; et les ménages non-motorisés, pour lesquels l'utilisation de la voiture est nécessairement nulle, en dehors du recours occasionnel à des services de location de véhicules qui demeure, pour l'instant, assez marginal. Le fait d'être motorisé représente donc un processus de sélection qui scinde la population en deux sous-ensembles distincts.

besoin pratique d'un véhicule, ou encore à des ressources financières insuffisantes. Pour cette raison, une approche empirique de la saturation peut s'avérer plus attractive d'un point de vue opérationnel, dans la mesure où elle requiert le recours à un moins grand nombre d'hypothèses et s'avère donc tout à la fois plus flexible et plus robuste. En revanche, elle échoue à expliquer la saturation, justifiant la recherche d'arguments de nature plus théorique, qui sont développés ci-après.

Les arguments basés sur le processus de diffusion de l'automobile

La première famille d'arguments s'appuie sur le processus de diffusion de l'automobile en tant que bien durable, qui pourrait désormais s'approcher de la saturation. Cet argument est par exemple avancé par la *National Surface Transportation Policy and Revenue Commission (2008)*, qui note que, compte tenu d'une disponibilité de l'accès à un véhicule personnel proche de la saturation pour la population adulte aux Etats-Unis, les niveaux d'équipement automobile ne peuvent désormais plus beaucoup augmenter. De même au Royaume-Uni, *Metz (2010, 2013)* observe que la voiture est désormais largement répandue de sorte que sa diffusion plafonne. La possession de voitures et d'utilitaires légers s'est stabilisée à 75 % des ménages, reflétant probablement une saturation de la demande de la part de ceux qui sont capables de conduire et qui le souhaitent - actuellement 72 % des adultes en Grande-Bretagne disposent du permis de conduire. Il remarque également que la saturation de la demande s'observe dans d'autres secteurs de l'économie. L'enquête annuelle continue sur les budgets des ménages au Royaume-Uni révèle ainsi que la possession par les ménages du chauffage central, de machines à laver, de réfrigérateurs et de fours à micro-ondes dépasse à présent 90 %. La possession de téléphones, de lecteurs DVD, de lecteurs CD, de la télévision numérique dépasse 80 %, et pour les ordinateurs personnels et une connexion Internet, elle dépasse 70 %. En relation avec ces tendances, le marché de l'automobile apparaîtrait désormais comme un marché mature, dans lequel la production et les achats de nouveaux véhicules sont surtout liés au renouvellement de la flotte, mais avec des répercussions désormais limitées sur le trafic automobile.

L'une des raisons fréquemment avancées pour la saturation du taux de motorisation est en particulier la stagnation du taux d'activité des femmes depuis la récession (*ITF, 2013 ; Puentes, 2013 ; Van den Waard et al., 2013*). Celui-ci, en effet, a constitué un moteur essentiel de l'accroissement des niveaux de motorisation des ménages au cours des décennies passées, entraînant l'acquisition de plus en plus fréquente d'un second véhicule. Aux Etats-Unis, par exemple, *Di Cécio, Engemann, Owyang, Wheeler (2008)*, observent qu'en 1950, seulement une femme sur trois en âge de travailler était effectivement active, contre 60 % en l'an 2000, depuis lequel il est depuis demeuré quasiment inchangé. De même aux Pays-Bas, *Van den Waard et al. (2013)* relèvent qu'après une forte augmentation du taux d'activité des femmes, celui-ci s'est stabilisé depuis 2008. En outre, une légère décroissance du taux d'activité des hommes est observable.

La modélisation des processus de diffusion de nouveaux produits s'inscrit dans le cadre de la théorie de l'innovation. Elle a été modélisée à travers la notion de cycle de vie d'adoption d'une technologie nouvelle par *Rogers (2003)*, dans laquelle des groupes d'adoption successifs sont désignés par des expressions telles que les « pionniers », les « groupes innovants », la « majorité innovante », la « majorité tardive » et les « retardataires ». Ces expressions renvoient à la propension variable de diverses strates de population à adopter l'innovation, susceptible d'être liée aux schémas culturels, aux opinions, aux attitudes. Toutefois, les données disponibles sur la diffusion de l'automobile suggèrent que des facteurs économiques et sociaux entrent également

en ligne de compte dans le rythme d'adoption des nouvelles technologies, du moins lorsque celles-ci représentent un certain coût d'investissement en capital comme c'est le cas pour l'automobile. En général, on observe que les ménages moins fortunés tendent à s'équiper plus tardivement que d'autres, ce qui peut sans doute en partie s'expliquer par une corrélation des « attitudes » à l'égard de l'innovation avec la position sociale, les ménages plus aisés étant susceptibles d'être moins réticents au changement, mais tient également aux entraves financières à l'acquisition d'un nouveau produit. A mesure de la pénétration du marché, en effet, les économies d'échelle permettent d'abaisser les coûts de production et de favoriser une diffusion de plus en plus large du produit, qui évolue de ce fait graduellement d'un bien de luxe vers un bien intermédiaire, puis d'un bien intermédiaire vers un bien courant. Ce modèle de diffusion est en particulier typique des biens industriels tels que l'automobile, pour laquelle il a notamment été théorisé par les constructeurs eux-mêmes, qui ont souhaité dès le départ favoriser une diffusion aussi large que possible de l'automobile de manière à favoriser l'expansion de l'industrie, avec la célèbre *Ford T*.

La notion de processus de diffusion d'un bien durable suppose *a priori* que les besoins sont par essence limités, et que la saturation survient dès lors que chaque agent économique – ménage ou individu – est équipé, une idée qui trouve sa justification dans le caractère essentiellement utilitaire de l'équipement. La diffusion du bien, partant d'une situation où aucun agent n'est équipé, et évoluant progressivement vers une situation où chaque agent est équipé, passe donc par différentes étapes intermédiaires : émergence du marché caractérisé par le démarrage de la diffusion du bien, rythme de croisière caractérisé par une croissance rapide et homogène, ralentissement de la croissance et convergence vers la saturation. Dans ce processus, qui peut être par exemple représenté par une courbe logistique ou toute courbe en S, le statut du bien évolue, passant graduellement de celui d'objet de luxe à celui de bien intermédiaire, puis de bien intermédiaire à bien de première nécessité, sa diffusion au sein de la population devenant de plus en plus homogène au fil du temps. Il est clair dans ce cas que l'usage moyen de la voiture par agent économique augmente avec la proportion d'entre eux qui disposent de l'accès à un équipement¹⁷. Par conséquent, si on dissocie le taux d'équipement de son usage par les personnes équipées, il est clair qu'en cas de saturation du taux d'équipement, l'un des moteurs de la croissance du niveau d'usage moyen par personne aura tendance à saturer. En particulier, si on se rapporte plus spécifiquement au cas de l'automobile, en cas d'atteinte d'un niveau de saturation dans la proportion d'agents équipés, l'un des moteurs de la croissance du trafic, qui est l'augmentation de la proportion de ménages ou d'individus motorisés¹⁸, serait en train de se tarir. Une fois le processus de diffusion achevé, la croissance du trafic automobile ne reposerait plus en effet que sur l'évolution de l'utilisation moyenne des véhicules.

Les arguments basés sur les contraintes de temps, combinées avec les limites au progrès des vitesses de déplacements

L'un des arguments fréquemment invoqués en faveur de l'idée de saturation de la demande à long terme repose sur certains invariants habituellement constatés dans les comportements de mobilité, tels que le budget-temps quotidien de déplacement (*cf. section II.2.a.2*), limitant par nature la progression des distances parcourues en l'absence d'augmentation de la vitesse des

¹⁷ Cette relation sera discutée plus en détail dans la section II.2.a.

¹⁸ Une discussion sur le niveau pertinent de rattachement de l'équipement automobile sera présentée dans la section II.2.b.1.

déplacements (*Marchetti, 1994*). Dans ces raisonnements, le progrès technique interagit avec les forces économiques, les ménages utilisant des modes de plus en plus rapides à mesure que leur revenu (et leur valeur du temps) augmente. Aussi, certains auteurs s'attendent-ils à ce que ce processus, qui jouait hier en faveur de l'automobile, joue désormais en faveur de modes plus rapides, tels que l'avion, du fait que peu de gains supplémentaires d'accessibilité peuvent désormais être attendus d'une utilisation accrue de la voiture (*Schafer et Victor, 2000*).

Vers le début des années 1970, une première tentative est faite (*Zahavi, 1974*) de prendre en compte dans les modèles de prévision de la demande de transports un constat récurrent, à savoir que le temps quotidien qu'un individu consacre en moyenne à ses déplacements est remarquablement stable dans le temps et dans l'espace, ce que les auteurs ont supposé constituer un aspect fondamental du comportement humain, et qu'ils ont qualifié de « budget-temps », par analogie avec la dépense totale ou la proportion de leurs revenus que les individus sont prêts à consacrer à leurs dépenses de transport. Plus récemment, *Schafer et Victor (2000)* ainsi que *Metz (2010)* supposeront que la contrainte de temps joue un rôle fondamental dans l'explication de la saturation de l'usage de la voiture. Ils aboutissent toutefois à la même conclusion par un raisonnement radicalement différent.

Selon *Schafer et Victor (2000)*, la distance totale parcourue, tous modes confondus, est très sensible à l'évolution des revenus, mais le temps total passé dans les transports demeure stable. Par conséquent, à mesure que le revenu s'accroît, cette « loi » entraîne un transfert de la demande des modes lents vers les modes plus rapides, en premier lieu vers la voiture, puis vers l'avion. En vertu de ce raisonnement, ils suggèrent que l'usage de la voiture devrait atteindre un pic en Amérique du Nord aux environs de 2010, et décliner globalement dans les pays de l'OCDE. En raison du report de la demande de la voiture vers l'avion, le transport aérien devrait représenter selon leurs prévisions 36 % de la demande de transport totale en 2050. *Schafer et Victor (2000)* supposent en fait que le processus qui jouait jusqu'à présent en faveur d'un report vers la voiture, devrait jouer à l'avenir en faveur de l'avion. En effet, étant donné que les budgets-temps quotidiens et la fraction de leur revenu que les individus consacrent à se déplacer sont en moyenne stables à long terme et varient peu d'un pays à l'autre, ils peuvent être utilisés comme pivots pour projeter la demande future par mode de transport à l'échelle mondiale. De plus, la mobilité totale croît à proportion du revenu disponible, les individus se déplaçant vers des modes plus rapides à mesure que leur revenu (et leur valeur du temps) augmente. Toutefois, dans le contexte européen caractérisé par des distances plus faibles entre les métropoles, ce rôle devrait plutôt être dévolu au train à grande vitesse. En France, par exemple, la fréquence moyenne des déplacements en train à grande vitesse a augmenté entre les deux dernières Enquêtes Nationales Transports tandis que dans le même temps, celle des déplacements automobiles à longue distance et celle des déplacements aériens intérieurs stagnaient (*Grimat, 2010*).

Mis à part le gain de vitesse, un autre argument jouant en faveur des modes collectifs réside dans le coût d'opportunité du temps passé dans les transports, qui augmente avec le revenu, étant associé à un resserrement des contraintes sur les emplois du temps. De ce point de vue, les modes collectifs permettraient une plus grande valorisation du temps passé dans les transports, auquel ils confèrent une utilité primaire ou intrinsèque (*Redmond and Mokhtarian, 2001 ; Papon et al., 2008*). Cette utilité tend par ailleurs à augmenter avec la banalisation des équipements électroniques mobiles (ordinateurs portables, *smartphones*, tablettes tactiles...) qui permettent de travailler, de s'informer ou de se divertir pendant le temps de déplacements.

Selon *Metz (2010)*, le nombre de destinations pouvant être atteintes en deçà d'une certaine distance, augmente avec le carré de la distance en moyenne. Avec l'augmentation de la vitesse des déplacements et le desserrement spatial des offres de services, l'accessibilité d'un grand nombre de services s'est fortement accrue dans les zones urbaines au cours des dernières décennies, par exemple pour les grandes surfaces alimentaires ou encore les écoles. Ces évolutions conduisent à réduire la distance de certains déplacements, à l'encontre des tendances antérieures. *Metz (2010)* observe ainsi que si les distances domicile-travail continuent de croître en Grande-Bretagne, ce n'est plus le cas pour les autres motifs. En utilisant les indicateurs d'accessibilité du département britannique des transports, destinés à aider les autorités locales à développer des stratégies pour améliorer l'accès de leur population aux services et à l'emploi, les estimations de la Commission Britannique à la Concurrence montrent que 80 % de la population urbaine britannique dispose d'un accès à trois grands magasins ou davantage, et 60 % à quatre ou plus, à moins de quinze minutes en voiture.

Goodwin (2013) observe que bien que *Metz (2010)* formule ses arguments en termes de budget-temps constant, un résultat analogue peut être obtenu sans recourir à cette contrainte. Une hypothèse plus générale, due à *Van Dender*, est que puisque le temps total disponible est toujours contraint, le coût d'opportunité du temps passé dans le transport augmente avec le revenu, sauf lorsque le temps passé dans le transport peut être combiné avec d'autres activités telles que le travail, incitant au report modal de la voiture vers le transport public.

Notons que ces deux approches ne permettent pas de dégager un consensus sur l'explication de l'effet de revenu. *Schafer et Victor (2000)* considèrent ainsi que l'élasticité au revenu continuera d'être élevée et donc le revenu un facteur influent de l'usage de la voiture et de la demande de transport, tandis que *Metz (2013)* considère que l'effet de la croissance des revenus sur l'usage de la voiture devrait décliner au fil du temps. Notons également que la deuxième approche combine l'idée de contraintes sur les temps de déplacement avec celle de rendements marginaux décroissants de la mobilité. Dans les deux approches, le vecteur de la croissance de la demande est la combinaison du progrès technique avec la croissance économique. La croissance de la demande, toutefois, ne représente pas un processus infini, mais se trouve limité par des contraintes qui en fixent le terme, à un niveau et une période plus ou moins bien déterminés dans le futur.

Metz (2013) suggère que la saturation du trafic par individu constitue le signe de l'entrée dans une « quatrième ère »¹⁹ de la mobilité, caractérisée par la stabilité, dans laquelle l'évolution future de la mobilité et du trafic automobile dépendra surtout des facteurs démographiques – croissance démographique, vieillissement de la population, augmentation de l'espérance de vie – et spatiaux – tendance à la ré-urbanisation marquée par la densification des zones urbaines existantes plutôt

¹⁹ Cette quatrième ère ferait suite à : (a) la première ère coïncidant avec la sortie des premiers humains d'Afrique il y a soixante-mille ans, dans laquelle les chasseurs-cueilleurs consacraient en moyenne trois à quatre heures par jour à leurs déplacements, couvrant de 3 000 à 4 000 miles/an ; (b) la seconde ère commençant avec la révolution néolithique au Moyen-Orient il y a dix-mille ans, associée à la sédentarisation ainsi qu'à l'émergence de l'agriculture et de l'élevage. Les humains consacraient alors environ une heure par jour à se déplacer ; © la troisième ère commencerait au dix-neuvième siècle avec l'avènement des chemins de fer. L'utilisation des énergies fossiles, d'abord le charbon puis le pétrole, a rendu possible l'augmentation des vitesses et le transport de masse. En l'espace de deux siècles, la distance moyenne parcourue par personne en Grande-Bretagne a progressé de 1000 à 7000 miles annuels, toujours sur la base d'une heure par jour de déplacements en moyenne.

que les extensions urbaines qui ont caractérisé la période précédente. Le phénomène du « *peak car* », qui marquerait cette transition, est observé même dans des villes caractérisées par un succès économique et une croissance démographique, les besoins de mobilité de la population y étant de plus en plus assurés par l'investissement dans le transport ferroviaire, caractéristique de cette nouvelle ère, plutôt que par l'automobile.

En s'appuyant sur l'Enquête Nationale Transport britannique conduite annuellement par le *DfT* auprès de 20 000 ménages répondants, *Metz (2013)* observe que certaines caractéristiques fondamentales des comportements de mobilité ont peu évolué au cours des quarante dernières années, en particulier le temps moyen de déplacement qui demeure constant aux environs d'une heure par jour et par personne, ainsi que la fréquence de déplacements, aux environs de 1000 déplacements annuels. Par contre, la distance moyenne parcourue a progressé de 4 500 miles par an et par personne dans les années 1970 à environ 7 000 miles au milieu des années 1990. *Metz (2013)* observe que les bénéfices tirés par les individus de l'augmentation des vitesses de déplacements, rendue possible par les investissements considérables dans le système de transport réalisés au cours des quarante dernières années et surtout par la diffusion de l'automobile, n'ont été convertis ni en déplacements supplémentaires, ni en temps de déplacement économisé en faveur du travail ou d'autres activités, mais plutôt en augmentation des distances parcourues, de manière à faire des déplacements plus longs dans le même temps imparti. A long terme, le bénéfice de l'augmentation des vitesses de déplacements est donc converti en augmentation de l'accessibilité et des opportunités. Un aspect significatif de cette analyse est qu'on y retrouve le caractère quasi-invariant et stable à travers l'espace du temps moyen de déplacement d'une heure par jour et par personne depuis que les groupes humains se sont sédentarisés, revêtant quasiment le caractère d'une constante anthropologique (*Marchetti, 1994*).

Cependant, la dynamique de progression des vitesses des déplacements semble à présent s'être arrêtée, entravée par différents facteurs tels que les pressions sur les prix des carburants, qui conduisent à limiter l'usage de la voiture, ainsi que l'accroissement de la congestion, les politiques en matière de sécurité routière, les aménagements urbains à travers le développement des zones piétonnes et cyclables, les mesures de restriction du stationnement et de circulation apaisée, toutes mesures qui conduisent à réduire les vitesses de déplacement automobiles dans les agglomérations ainsi qu'à leurs abords. Ce ralentissement se répercute nécessairement sur l'évolution des distances parcourues en voiture, compte tenu de budgets-temps contraints.

Les arguments basés sur les rendements marginaux décroissants

Un autre argument fréquemment invoqué en faveur de l'idée de saturation est basé sur la thèse des rendements marginaux décroissants, ou si l'on préfère, du déclin de l'utilité marginale, un thème récurrent en économie. Par exemple, *Metz (2010)* suppose que les gains d'accessibilité supplémentaires obtenus par le moyen d'une augmentation de l'usage de la voiture apportent un bénéfice marginal décroissant. Ainsi, l'utilité additionnelle pouvant être retirée d'une destination distante aurait tendance à décroître une fois qu'on a passé les destinations les plus proches. Par exemple, il est raisonnable de supposer que l'utilité additionnelle de l'accès à un quatrième supermarché en voiture en moins de quinze minutes est inférieure à celle du troisième. Donc à la fois selon *Metz (2010)*, compte tenu de la saturation des vitesses de déplacements, le nombre d'opportunités accessibles dans un temps donné tend à se stabiliser, et l'utilité supplémentaire des opportunités additionnelles tend à décroître, de sorte qu'on peut s'attendre à un ralentissement et finalement une saturation de la demande de transport.

Le déclin de l'utilité marginale permet notamment de justifier au point de vue économique la courbe *d'Engel*, qui montre que, selon la loi *d'Engel (1857)*, la croissance de la consommation de certains biens – par exemple les dépenses alimentaires – ralentit à mesure que le revenu des agents augmente, et par conséquent que le coefficient budgétaire associé décroît. En revanche, la proportion des revenus allouée au logement, à l'habillement et à l'énergie est indépendante du revenu. Enfin, la proportion des revenus allouée à la santé, à l'éducation ou encore aux loisirs augmente avec le revenu, c'est-à-dire que la courbe *d'Engel* pour les consommations de services en fonction du revenu est convexe. Par conséquent, à mesure que le revenu augmente, la structure de la dépense se modifie, évoluant vers une consommation plus importante de services ou plus « immatérielle », au détriment des biens de première nécessité. De manière équivalente, on peut dire que l'élasticité au revenu de la demande pour les biens alimentaires est inférieure à 1, expliquant la baisse du coefficient budgétaire pour l'alimentation avec l'augmentation du revenu. À l'inverse, l'élasticité au revenu des biens supérieurs serait supérieure à 1. La faible élasticité au revenu des dépenses alimentaires traduit vraisemblablement un phénomène de décroissance de leur utilité marginale, les besoins n'étant pas illimités. Les revenus supplémentaires sont donc investis dans d'autres postes de dépenses correspondant à des besoins supérieurs, ou bien épargnés. À l'inverse, la consommation de biens culturels n'est pas limitée *a priori* par les besoins, mais seulement par la demande du marché pour ce type de produits.

Le cas du processus de diffusion d'un bien durable entre-t-il ou non dans le cadre d'un processus analogue ? D'un côté en effet, on peut supposer qu'une fois les agents économiques – ménages ou individus – équipés du bien, l'utilité d'équipements additionnels est faible. Les élasticités au revenu du taux de motorisation se situent de plus nettement en-dessous de 1, suggérant qu'il s'agit d'un bien de première nécessité, dont la consommation croît de plus en plus lentement à mesure que le revenu augmente. Cependant, la courbe *d'Engel* ne semble pas être la plus appropriée pour représenter le processus de diffusion d'un bien d'équipement, dont la fonction est essentiellement utilitaire, et la possession généralement limitée à une seule unité (par ménage ou par individu, selon le cas), dans la mesure où elle ne prend pas explicitement en compte la saturation qui survient lorsque chaque agent économique est équipé. Dans ce cas, l'élasticité au revenu de la dépense, au lieu d'être constante, décroît avec le revenu – et au fil du temps – à mesure qu'on se rapproche de la saturation. C'est ce qu'on observe, par exemple, pour l'élasticité au revenu du taux de motorisation qui, selon la littérature, décroît au fil du temps, ainsi qu'en fonction du niveau de revenu. Dans ce cas, il pourra s'avérer plus approprié de représenter le processus de diffusion par la fonction de répartition d'une loi de probabilité. Ainsi par exemple, la diffusion cumulée d'un bien peut généralement être représentée par une courbe logistique ou sigmoïde, représentant le taux de pénétration du marché et la saturation éventuelle de la demande pour une nouvelle technologie ou un nouveau produit. Bien que ce concept soit bien connu, la théorie de la diffusion des innovations est rarement prise en compte dans la littérature professionnelle ou économique. *Osenton (2004)* a discuté des implications des phénomènes de saturation sur l'économie. *Aoki et Yoshikawa (2002)* observent que dans la littérature macro-économique standard, le facteur fondamental restreignant la croissance économique est généralement constitué par les rendements marginaux décroissants de l'investissement dans la production ou dans la recherche-développement. Ces auteurs présentent un modèle dans lequel le principal facteur limitant la croissance résulte au contraire des processus de saturation de la demande pour la consommation de biens individuels. L'économie connaît ainsi une phase d'expansion lors de l'introduction de nouveaux produits et d'industries qui soutiennent la croissance de la demande et l'accumulation de capital. *Foelmi et Zweimuller (2008)* observent que lorsque la hiérarchie des priorités en matière de consommation se transforme, la demande pour les produits existants a tendance à saturer, de sorte que de nouvelles marchandises doivent être

continuellement introduites sur le marché afin de relancer la demande. L'innovation jouerait ainsi le rôle de carburant de la croissance.

L'argument capacitaire

Un dernier argument se rapporte à la capacité limitée des infrastructures de transport, qui est susceptible de constituer un facteur limitant de l'usage de la voiture, dans un contexte d'investissements routiers en chute libre par rapport aux décennies 1970-80 (*Papon et Madre, 2003*). En dépit de la congestion croissante, les financements publics consacrés à l'amélioration des infrastructures routières devraient ainsi demeurer limités dans les décennies à venir, notamment en raison de politiques devenues plus favorables aux moyens de transport alternatifs et tendant à dissuader l'usage de la voiture. Selon cette explication, l'évolution de la demande est régulée en amont par l'offre de transport disponible, dont résulte des limites capacitaires.

II.1.a.4) Le déclin de l'efficacité relative de la voiture, en lien avec de nouvelles politiques publiques de transport et d'aménagement :

Pour différentes raisons, l'avantage comparatif de la voiture sur les autres moyens de transport est susceptible d'avoir décliné au cours de la précédente décennie, en particulier en milieu urbain. Tout d'abord, l'accroissement de la congestion routière induit un décalage croissant entre les vitesses théoriques et les vitesses effectives. Cette situation tend à s'aggraver en raison de la baisse tendancielle des investissements routiers. Par ailleurs, les politiques publiques, sous l'impulsion des objectifs mondiaux de maîtrise du changement climatique, ont accusé un virage à cent-quatre-vingt degrés depuis les années 1990, la priorité étant désormais clairement affichée à l'amélioration tant quantitative que qualitative de l'offre de transports collectifs urbains, en termes de performance – vitesse, fréquence, fiabilité – de confort et d'accessibilité, tant physique que financière. Dans le même temps, elles tendent à dissuader toujours davantage l'usage de la voiture en ville ou du moins à en réduire considérablement l'attrait, compte tenu des mesures de limitations de vitesse, de partage de la voirie favorables au bus, au tramway et au vélo, et de restriction ou de tarification du stationnement. Ces évolutions pourraient avoir incité une partie des ménages à réduire leur niveau de conduite et à se reporter vers l'usage des modes alternatifs.

De fait, plusieurs auteurs soulignent une possible influence des politiques publiques sur les comportements de mobilité. En France, ces politiques ont amorcé un virage depuis la fin des années 1990, à la suite des *Protocoles de Rio et de Kyoto* et de la mise en œuvre obligatoire des *Plans de Déplacements Urbains (PDU)* dans les agglomérations de plus de cent-mille (100 000) habitants, en application de la *loi LAURE* de 1996. *De Solère (2012)* souligne ainsi que le renouveau du tramway dans la décennie 2000 a sans doute contribué au regain de fréquentation des transports en commun et au recul de la voiture en ville. En effet, bien que quelques villes pionnières comme Nantes ou Grenoble aient commencé à redévelopper leur réseau de tramway dès les années 1980, ce n'est véritablement qu'à partir des années 1990 et 2000 que cette tendance se généralise, avec pas moins de dix-neuf agglomérations qui se dotent de métros, de tramways ou de *Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)*, entraînant la construction de 450 km de lignes nouvelles. Globalement, l'offre de transports collectifs exprimée en km/habitant augmente de 15 % entre 1999 et 2009 (*UTP, base TCU DGITM/CERTU/GART/UTP*). Par ailleurs, l'extension des *Périmètres de Transport Urbain (PTU)* en application de la loi *Chevènement* de 1999 permet de couvrir des territoires toujours plus étendus et de moindre densité.

Des évolutions analogues sont observables pour la mobilité à longue distance, le transport ferroviaire ayant été redynamisé dans un premier temps par l'expansion du réseau ferroviaire à grande vitesse, puis par la modernisation du transport régional de voyageurs, plébiscité par une partie des actifs qui doivent effectuer des déplacements de plus en plus longs pour se rendre à leur lieu de travail.

Dans un contexte caractérisé par l'augmentation des prix des carburants, cette dynamique est favorisée par le coût avantageux des transports en commun, grâce à de fortes subventions publiques, qui tendent de plus à être renforcées par des mesures tarifaires avantageuses. Ainsi, dans l'agglomération nantaise par exemple, un nouveau schéma de desserte combiné à un système de tarification unique a contribué à une forte hausse de la fréquentation des autobus depuis 2005. De plus, en facilitant les rabattements vers les gares, la mise en place de parkings-relais a favorisé le développement de l'inter-modalité, et globalement la hausse de la fréquentation des transports collectifs (*Séguin et al., 2010*). *Beauvais (2012)* suggère que les transports en commun seraient aujourd'hui en moyenne trois fois moins chers que la voiture, lorsqu'on calcule le coût complet d'achat et d'utilisation et non seulement le coût marginal d'utilisation des véhicules. Cependant, la pérennité des aides publiques aux transports en commun n'est pas assurée dans le contexte budgétaire actuel, ainsi que le relève *Faivre d'Arcier (2012)*.

Buehler et Pucher (2012) observent que, même lorsqu'on tient compte des différences démographiques, socio-économiques et spatiales, la croissance de la fréquentation des transports publics est bien plus élevée en Allemagne qu'aux Etats-Unis, et imputent le succès du transport public en Allemagne à une stratégie cohérente de politiques publiques coordonnées, intégrant des améliorations tant quantitatives que qualitatives de l'offre de transports en commun, des développements urbains compacts qui favorisent la mixité urbaine, des tarifs attractifs, une billettique simple à utiliser, une forte intégration multimodale et des restrictions à l'usage de la voiture. Grâce à ces politiques, l'Allemagne serait devenue moins vulnérable que d'autres pays à l'augmentation des prix des carburants : les Allemands auraient ainsi réussi, contrairement à d'autres pays, à compenser le recul de l'usage de la voiture par un recours accru aux transports en commun.

Les aménagements en faveur de la marche et du vélo, ainsi que le développement des systèmes de vélos en libre service, ont également contribué au renouveau des modes actifs. Si *Vélib* à Paris est sans doute le plus médiatique de ces dispositifs, ces politiques ont toutefois d'abord été initiées par des agglomérations de province telles que la Rochelle, Rennes, puis Lyon avec le *Vélov*, ou encore Nantes avec le *Bicloo*. Parmi les avantages de la pratique de la marche et du vélo souvent mis en avant dans les politiques cyclables afin d'inciter au changement de comportements, figurent au premier plan leurs répercussions bénéfiques sur la santé. Aussi sont-ils fréquemment qualifiés de modes « actifs », par opposition aux modes motorisés qui ne requièrent pas d'effort physique.

Par ailleurs, les difficultés croissantes de circulation et de stationnement au sein des agglomérations sont susceptibles d'avoir dégradé la performance de la voiture en termes non seulement relatifs mais également en termes absolus. Observons en premier lieu que même en l'absence de politiques publiques ciblées, l'accroissement de la congestion routière, qui entraîne une dégradation des conditions de circulation, est une conséquence naturelle de la baisse des investissements routiers, lorsqu'elle est conjuguée avec la croissance du trafic, qui amène à terme une saturation des infrastructures dont la capacité est limitée. *Fraser (2014)* montre par exemple le rôle de la saturation des infrastructures routières dans la baisse du trafic routier au sein du

comté de Los Angeles. Mais en outre, celle-ci est renforcée par les réductions de capacité de voirie dédiée au trafic automobile - couloirs réservés pour les bus, voies cyclables, implantation d'une ligne de tramway, etc. *Cairns et al. (1998)* montrent que les automobilistes modifient leurs comportements de manière graduée en réponse aux perturbations résultant des réductions de capacité routière, en changeant d'abord d'itinéraire, puis de mode, voire à plus long terme de lieu de résidence ou d'emploi. De même, *Koning (2011)* pointe les baisses de circulation consécutives aux réductions de capacité de voirie à Paris, et *IAURIF (2013)* relève que le regain de fréquentation des transports en commun observable en Ile-de-France survient dans un contexte de saturation du réseau routier. En Grande-Bretagne, *Metz (2013)* relève que si les cadres britanniques sont aujourd'hui davantage attirés par le transport ferroviaire que par la voiture pour les déplacements vers leur lieu de travail, c'est notamment en raison du déclin de la performance relative de la voiture en ville qui résulte à la fois de l'accroissement de la congestion et de la redistribution de l'espace de la voirie au profit des piétons, des trams, des bus, des taxis, du fret et des véhicules d'urgence.

De plus, les limitations des vitesses autorisées dans le cadre des politiques de « circulation apaisée » dégradent également l'avantage comparatif de la voiture. Enfin, le stationnement joue un rôle crucial dans le choix du moyen de transport, en particulier pour les déplacements vers le lieu de travail (*Jarrige et Raynard, 2003 ; Hérin et al., 2011*). La réduction des capacités de stationnement non-payantes dans les zones denses des agglomérations a ainsi sans doute contribué à favoriser le report de la voiture vers les autres modes. *ITF (2013)* note qu'une tarification des transports publics fréquemment revue à la baisse et une réduction substantielle de l'espace dévolu au stationnement contribuent également au recul de l'usage de la voiture en ville.

D'une manière générale, les difficultés croissantes de stationnement et de circulation dans les grandes agglomérations, d'une part, les améliorations significatives de l'offre de transport en commun depuis plus d'une décennie, d'autre part, contribuent donc à dégrader la performance relative de la voiture en milieu urbain.

II.1.a.5) Des effets de structure : ré-urbanisation et vieillissement de la population

Certains chercheurs pointent une contribution possible des facteurs spatiaux aux évolutions actuelles, en soulignant en particulier les tendances à la ré-urbanisation que l'on observe désormais depuis parfois plus de deux décennies, incluant le retour de la croissance démographique dans les zones les plus densément urbanisées, notamment au cœur des grandes métropoles, ainsi qu'une réorientation des développements résidentiels et urbains vers les parties centrales et denses des grandes agglomérations, répondant en partie à la demande du marché mais résultant aussi des politiques publiques de planification. D'autres auteurs soulignent les effets du vieillissement de la population, qui se poursuit dans les pays développés, et qui pourrait globalement entraîner une réduction de la mobilité, compte tenu du recul des déplacements vers le lieu de travail qui en résulte. Ces deux explications peuvent être regroupées sous la dénomination générale « d'effets de structure », dans la mesure où elles supposent que l'évolution de l'usage moyen de la voiture – par adulte ou par ménage – pourrait résulter moins de changements dans les comportements individuels, que de changements dans la structure de la population, en l'occurrence, l'accroissement du poids relatif de la population âgée, ou de celui de la population résidant dans les zones urbaines denses, faiblement dépendantes à l'égard de la voiture. Du moins, elles cherchent à évaluer les contributions respectives d'effets de structure éventuels en les dissociant de celles d'évolutions effectives dans les comportements individuels.

Des évolutions dans la distribution spatiale des populations et les choix résidentiels, en lien avec les politiques de planification, d'urbanisme et de transport

Les formes urbaines sont clairement déterminantes pour l'explication des comportements de mobilité. De nombreuses recherches ont montré les fortes relations qui existaient entre les comportements de mobilité et les formes urbaines, auxquelles l'offre de transport alternative à la voiture, d'une part, la concentration spatiale des lieux d'activités et la distance des déplacements, d'autre part, sont fortement corrélées. Le desserrement spatial des agglomérations, en partie rendu possible par la diffusion de l'automobile elle-même, a rendu l'usage de la voiture de plus en plus nécessaire au fil des décennies, plaçant de ce fait une grande partie des ménages dans une situation de dépendance à l'égard de l'automobile (Newman et Kenworthy, 1989 ; Dupuy, 1999).

Or, un certain nombre d'études menées au cours de la décennie 2000 soulignent l'émergence d'un mouvement de ré-urbanisation, qui se manifeste notamment par un regain de croissance démographique en cœur d'agglomération, après des décennies de desserrement spatial des agglomérations et de périurbanisation. Certains auteurs ont suggéré que les agglomérations pourraient être en train d'évoluer vers un nouvel équilibre à l'issue d'une transition dont la diffusion de l'automobile fut le vecteur, assurant le passage entre deux formes caractéristiques d'organisation de la ville, la ville pédestre et la ville motorisée (Wiel, 1999). Cette hypothèse est notamment discutée dans Aguilera et al. (2003), qui observent que l'extension des bassins de vie a commencé à ralentir dans les années 90, et suggèrent que cette transition serait désormais achevée ou en voie de l'être.

Aussi, l'une des causes avancées pour le plafonnement de l'usage de la voiture et les changements observés dans les comportements de mobilité est l'évolution de la distribution spatiale des populations. L'une des explications de ces nouvelles tendances réside sans doute dans les politiques d'aménagement conduites au cours de la dernière décennie, qui tendent à privilégier une concentration des nouveaux développements résidentiels et urbains dans les zones déjà urbanisées plutôt qu'une extension de l'urbanisation. Cependant, dans le même temps, les préférences et les styles de vie de la population sont susceptibles d'avoir évolué, entraînant une réorientation des choix résidentiels. Enfin, certains phénomènes démographiques tels que l'immigration sont susceptibles d'avoir joué un rôle important, notamment au Royaume-Uni.

Headicar (2013), étudiant le rôle des effets de localisation sur l'usage de la voiture en Angleterre, observe que le plafonnement de l'usage de la voiture coïncide avec un changement de rythme de la croissance démographique et un renversement de la tendance de long terme à la périurbanisation. En effet, la croissance démographique s'est accélérée au cours de la dernière décennie en raison d'une augmentation des naissances et du solde migratoire. De plus, en s'appuyant sur les recensements de la population et les enquêtes nationales transport depuis 1971, il pointe un mouvement de ré-urbanisation au cours de la même période, la croissance démographique étant concentrée à Londres ainsi que dans les autres grandes métropoles britanniques. La croissance de Londres est particulièrement rapide, s'élevant à 850 000 habitants depuis 2001, qui font augmenter la proportion d'habitants du Grand Londres au sein de la population nationale depuis 1991. Headicar (2013) observe que cette inversion de tendance est d'autant plus remarquable dans une période de forte croissance démographique. En effet, auparavant, une telle croissance se serait traduite par un débordement massif sur les zones moins densément urbanisées, alors que pour la première fois, la croissance démographique à l'intérieur des agglomérations est équivalente à celle des petites villes et zones rurales. Par conséquent, alors

qu'auparavant l'évolution dans la distribution spatiale de la population contribuait à accroître l'usage moyen de la voiture, elle tend maintenant à le réduire.

Puentes (2013) remarque également une évolution dans la distribution spatiale de la croissance démographique aux Etats-Unis. Des données du recensement de la population américain montrent que la population des centres-villes des plus grandes aires métropolitaines a augmenté de 13,3 % entre 2000 et 2010. Ce mouvement de ré-urbanisation est aussi pointé par *Newman et Kenworthy (2015)*, suggérant qu'on assisterait à la fin de la ville construite autour de l'automobile en tant que modèle dominant d'urbanisation et de mobilité.

Néanmoins en France, cette question ne récolte pas de consensus et les données les plus récentes font état de tendances complexes. *Baccaini et Sémécurbe (2009)* remarquent que la périurbanisation se ralentit autour des plus grandes agglomérations et procède désormais davantage par densification que par extension. De même, *Laganier et Vienne (2009)* notent une transition d'une logique d'extension périurbaine vers un régime de croissance plus homogène entre les différents territoires. Les espaces ruraux tendent ainsi à se densifier, tandis que dans le même temps, les villes-centres des grandes agglomérations connaissent un regain d'attractivité depuis les années 1990, après deux décennies de baisse. Cette inversion de tendance pourrait indiquer que les bénéfices de la voiture tendent à atteindre leurs limites, dans la mesure où l'allongement des distances entre le domicile et le lieu de travail est de moins en moins choisi, et le recours à la voiture n'apparaît plus comme une stratégie suffisante pour maîtriser le temps de déplacement. De ce fait, le retour en centre-ville ou du moins en cœur d'agglomération pourrait apparaître comme une stratégie efficace, bien que coûteuse, pour maîtriser le temps de déplacement, complémentaire à d'autres mesures telles que la réduction du nombre de déplacements. Pour autant, même si le poids relatif de la croissance démographique localisée en cœur d'agglomération se renforce, la population périurbaine continue de croître en termes absolus, avec des schémas de croissance variables d'une aire urbaine à l'autre (*Floch et Lévy, 2011*).

Headicar (2013) et *Metz (2013)* soulignent que l'inversion des tendances spatiales centrifuges des décennies passées semble pouvoir s'expliquer en partie par la réorientation des nouveaux développements résidentiels et urbains vers les zones déjà urbanisées en Angleterre, conjointement avec une augmentation de leur densité. Ainsi, entre 1997 et 2008, la proportion de nouveaux logements construits sur des terrains déjà urbanisés a augmenté de 56 à 81 % et entre 2001 et 2008, la densité des nouveaux développements résidentiels s'est accrue de 84 %. Aux Etats-Unis, *Puentes (2013)* relève que dans la métropole de *Washington D.C.*, plus de la moitié (55,8 %) des nouvelles constructions de logements sont situées dans les villes-centres ou dans les banlieues proches. Dans la métropole d'Atlanta, ce chiffre s'élève à 59,9 %. Cette évolution peut s'expliquer en partie par les nouvelles politiques gouvernementales de planification urbaine. Dans la région du *Grand Londres*, par exemple, un objectif gouvernemental et municipal clairement affiché est la régénération des anciens territoires industriels touchés par les délocalisations massives dans les années 1980. *Goodwin (2013)* relève que l'existence de tendances à la baisse du trafic dans certaines grandes métropoles coïncide pourtant avec une forte croissance démographique et économique ainsi qu'un dynamisme au niveau de l'emploi, et attribue cette dé-corrélation à des évolutions notables dans les pratiques de planification urbaine, avec une priorité désormais clairement affichée à l'implantation des nouveaux développements urbains dans les zones déjà urbanisées.

Cependant, les tendances à la ré-urbanisation s'expliquent également par la puissance de certaines forces de marché, les constructeurs répondant à un marché orienté vers la demande de logements de petite taille, qui sont pour la plupart des appartements - de moins de 20 % des constructions en 1999-2000 à presque 50 % en 2009-2010 pour le Grand Londres - reflétant la diminution de la taille des ménages et le coût élevé de la propriété immobilière, souvent inaccessible pour les jeunes ménages. Aux Etats-Unis, *Litman (2011)* montre qu'en raison de l'évolution de la taille des ménages, l'offre d'habitat dans les espaces d'urbanisation diffuse tend à devenir suffisante pour répondre aux besoins futurs, voire excédentaire, tandis que la compétition résidentielle pour l'accès aux espaces les plus densément urbanisés et accessibles par les transports en commun se trouve renforcée, causant une raréfaction de l'offre immobilière disponible dans des zones où les opportunités foncières pour des constructions nouvelles sont limitées. Ainsi, il est estimé que l'offre d'habitat de petite taille, collectif ou individuel groupé, située en milieu urbain dense, devra doubler d'ici à 2025 pour répondre à l'évolution des besoins. *Puentes (2013)* suggère que cette inflexion du marché de l'immobilier pourrait être également amenée par les styles de vie des nouvelles générations. Ainsi, *Doherty et Leinberger (2010)* citent une enquête montrant que 77 % des 18-35 ans préfèrent vivre dans les centres urbains. *Litman (2010, 2011)* suggère qu'aux Etats-Unis, depuis une dizaine d'années, les préférences évoluent vers des styles de vie plus urbains, des transports en commun améliorés et accessibles, une réduction de la fréquence et de la longueur des migrations pendulaires, des cheminements piétons et cyclables apaisés, une offre de commerces et de services de proximité. De même, *Metz (2013)* suggère que le style de vie urbain des jeunes est un contributeur important au renouveau des centres-villes.

Un dernier motif avancé, contribuant à la redistribution spatiale des populations, est le rôle de l'immigration et de ses répercussions démographiques, économiques et spatiales. *Headicar (2013)* considère en particulier les répercussions de la très forte immigration au Royaume-Uni pendant la dernière décennie. En effet, celle-ci peut être identifiée comme la cause principale de la croissance démographique, à la fois directement et indirectement à travers l'augmentation des naissances, et tend de plus à être concentrée dans les zones urbaines les plus denses, à Londres et dans les autres grandes métropoles britanniques. En outre, cette population disposant généralement de faibles revenus, tend à moins utiliser la voiture et avoir davantage recours aux transports collectifs. Le rôle de l'immigration dans la croissance démographique et économique de la partie dense des grandes métropoles est également souligné par *Metz (2013)*.

Headicar (2013) observe que les changements dans l'usage moyen par adulte de la voiture au niveau national peuvent être vus comme la résultante d'une combinaison de changements dans l'usage de la voiture pour chacune des zones de résidence, avec l'évolution de la distribution spatiale de la population entre les zones. Durant la période 1971-2001, on note une croissance générale de l'usage de la voiture, toutefois plus importante dans les zones moins densément urbanisées. Depuis une décennie au contraire, on observe pour la première fois une tendance générale au déclin de l'usage de la voiture, toutefois plus prononcée dans les zones densément urbanisées. A Londres, le déclin de l'auto-mobilité commence dès les années 1990, avec des réductions respectives de - 4 % et de - 28 % du nombre de voitures et du kilométrage moyen parcouru en voiture par habitant au cours de la dernière décennie. *Headicar (2013)* note ainsi que les écarts entre zones dans les niveaux moyens d'usage de la voiture n'ont fait que s'accroître au cours du temps. En Angleterre, l'usage moyen de la voiture varie ainsi aujourd'hui de plus de un à quatre entre les districts ruraux et l'agglomération de Londres, en raison de différences à la fois dans la longueur des déplacements et dans la part modale de la voiture.

Il s'ensuit que la distribution spatiale de la population a maintenant bien plus d'importance que par le passé pour orienter l'évolution future du niveau moyen d'usage de la voiture. *Headicar (2013)* observe toutefois que, depuis le début de la décennie, l'impact de l'évolution de la distribution spatiale de la population sur le trafic total est mineur par rapport aux évolutions générales de l'usage de la voiture dans l'ensemble des zones. Entre les années 1970 et le début des années 2000, la redistribution spatiale de la population avait ajouté environ + 2,9 % à l'usage moyen de la voiture sur l'ensemble de la période. Cependant, durant la dernière décennie, la redistribution spatiale de la population n'a eu qu'un impact marginal sur le kilométrage annuel parcouru par adulte.

Toutefois, *Headicar (2013)* note que la localisation de l'habitat ne constitue qu'une facette de la question, et que les évolutions dans la localisation des emplois, qui sont liées aux mutations de l'économie, jouent aussi un rôle crucial. La tertiarisation de l'emploi et la mondialisation de l'économie tendent ainsi à favoriser le développement des grandes métropoles, mais à l'intérieur des zones urbaines on observe parallèlement un processus de décentralisation vers des zones plus étendues et des localisations suburbaines accessibles en voiture. Cependant, des tendances à la re-localisation des emplois en cœur d'agglomération se dessinent également au sein des grandes métropoles (*Newman et Kenworthy, 2015*). Or, les localisations des emplois et de l'habitat ne sont pas indépendantes, et une question cruciale consiste à savoir si les évolutions dans les caractéristiques socio-économiques des populations contribuent à réduire les niveaux d'équipement automobile et d'usage de la voiture, au-delà du simple effet de la croissance démographique.

En France, *Beaucire et Chalonge (2007)* observent que les périphéries manifestent des signes d'autonomisation par rapport au cœur d'agglomération, sous l'effet du desserrement de l'emploi vers les périphéries qui tend à contrecarrer les effets de l'étalement urbain en contribuant au rapprochement entre les lieux de résidence et les lieux d'emploi. De même, *Hubert et Delisle (2013)* observent que la spécialisation fonctionnelle des périphéries diminue, avec une diffusion graduelle de l'emploi en banlieue et dans le périurbain, en particulier dans les grandes aires urbaines de province. De ce fait, les espaces périurbains tendent à devenir plus autonomes. Ainsi par exemple, on observe qu'entre 1994 et 2008, la part des résidents des espaces périurbains allant travailler au centre du pôle urbain a baissé de 40 à 26 % dans les aires urbaines de province, et de 29 à 12 % dans l'aire urbaine de Paris.

Le vieillissement de la population

Une autre explication parfois avancée au plafonnement de l'usage de la voiture est celle du vieillissement de la population. Ainsi que l'observe *Metz (2013)*, cette expression, qui désigne au choix l'augmentation de l'âge moyen de la population, ou celle de la proportion de personnes âgées de plus de soixante-cinq ans, parfois désignées comme les « *seniors* », traduit en fait deux phénomènes distincts :

- D'une part, l'élévation de l'espérance de vie moyenne, qui résulte de l'amélioration globale de l'état de santé des populations et de la diminution des causes de mortalité ;
- D'autre part, l'effet spécifique du vieillissement de la génération du *baby-boom* née juste après la guerre, qui tend à accélérer l'augmentation de l'âge moyen de la population, en raison de son poids démographique.

On suppose en général que le vieillissement devrait entraîner une diminution de la mobilité, et notamment de l'usage de la voiture, qui tendrait à diminuer au-delà d'un certain âge. Les raisons de cette diminution résident dans des effets de cycle de vie, avec la disparition des déplacements professionnels suivant le passage à la retraite, ainsi que l'avènement des soucis de santé et de dépendance avec le grand âge au-delà de soixante-quinze ans, générant des difficultés et une réticence plus grandes à se mouvoir. Toutefois, comme le relève Metz (2013), l'impact du vieillissement sur l'usage de la voiture est peu clair, dans la mesure où les effets d'âge tendent à être compensés par des effets de cohorte, compte tenu de la progression de la diffusion du permis de conduire, de l'automobile et de son usage, qui ont augmenté au fil des générations successives. De plus, les problèmes de dépendance semblent survenir à un âge de plus en plus avancé, grâce à l'amélioration de l'état de santé des populations âgées. ITF (2013) observent toutefois que les effets de cohorte devraient s'épuiser dans le futur, avec l'atteinte de seuils de saturation dans la diffusion de l'automobile, dans la mesure où les dernières cohortes affichent des comportements de plus en plus proches.

Sur la base d'un modèle des effets d'âge et de génération, Madre et al. (2013) montrent le rôle des facteurs démographiques dans la dynamique de long terme de l'usage de la voiture, dans l'idée d'évaluer la probabilité du "peak car", à savoir une baisse future de la mobilité. Compte tenu du vieillissement de la population et de la moindre mobilité des personnes retraitées²⁰, le point d'inflexion structurel devrait se situer au début des années 2000 dans les pays développés. Cette analyse montre toutefois que le vieillissement de la population, tout en contribuant au ralentissement de l'usage de la voiture, ne constitue qu'une explication partielle du phénomène.

Kuhnimof et al. (2013) comparent la situation dans quatre pays industrialisés - Etats-Unis, France, Royaume-Uni et Allemagne - sur la base des évolutions constatées entre les dernières enquêtes nationales transport. Pour chaque pays, ils analysent les contributions respectives de l'évolution de l'usage moyen des véhicules et du taux de motorisation au plafonnement du kilométrage annuel parcouru par adulte. Ils étudient également la contribution des facteurs démographiques à l'explication de ce phénomène. Le mode de recueil – continu ou à intervalles éloignés dans le temps – et les dates des dernières enquêtes nationales transport différant d'un pays à l'autre, les périodes d'observations comparées sont également hétérogènes (1982 - 1994 et 1994 - 2008 pour la France ; 1976 - 1997 et 1997 - 2007 pour l'Allemagne ; 1975 - 1996 et 1996 - 2005 pour la Grande-Bretagne ; 1983 - 2001 et 2001 - 2008 pour les USA). Dans chaque pays, la comparaison de la période la plus récente et de la période la plus éloignée montre que le vieillissement de la population exerce bien dans l'ensemble une influence à la baisse sur le kilométrage annuel moyen par adulte. Ils estiment également que cet impact devrait s'amplifier dans les deux décennies à venir, avec le passage à la retraite des générations du *baby-boom*. Le vieillissement de la population apparaît cependant hétérogène d'un pays à l'autre. Kuhnimof et al. (2012) et Kuhnimof et al. (2013) estiment que bien que l'ensemble des pays anciennement industrialisés connaissent un vieillissement significatif de leurs populations, c'est en Allemagne et au Japon que cette évolution est la plus marquée (Eisenmenger et al., 2006), y entraînant un recul plus important de l'usage de la voiture. Au Japon, ce recul est également montré par Hyodo (2012), le déclin démographique du Japon constituant dans ce cas un facteur aggravant.

Kuhnimof et al. (2012) observent que l'effet négatif du vieillissement est contrecarré par la progression de l'équipement automobile dans les nouvelles générations de retraités dans tous les pays étudiés, à l'exception des Etats-Unis. En France, au Royaume-Uni et au Japon, cet effet est

²⁰ Bien que celle des seniors ait progressé par rapport aux générations précédentes, ce phénomène concernant surtout les moins de 75 ans.

plus important que celui du vieillissement, alors qu'en Allemagne, les deux effets s'annulent. L'absence de progression des taux d'équipement chez les *seniors* aux Etats-Unis s'explique par l'ancienneté de la diffusion de l'automobile, ainsi que le suggèrent *Dejoux et al. (2010)*.

II.1.a.6) Des changements dans les préférences, les attitudes et les opinions à l'égard de la voiture

Un certain nombre de recherches et d'études, ainsi que des articles de journaux, mettent l'accent sur le changement des mentalités, en suggérant une possible évolution des opinions, des préférences et des attitudes à l'égard de la voiture, ainsi que plus globalement du rapport à la mobilité. Les enquêtes d'opinion, notamment celles qui sont réalisées par les instituts de sondage, mais aussi les résultats du volet « *opinions* » des *Enquêtes Ménages Déplacements (EMD)*, permettent d'apporter des éléments factuels sur cette question. Entre les articles de journaux, généralement intuitifs, et la recherche académique, une troisième source d'information est constituée par les études gouvernementales, s'appuyant par exemple sur des enquêtes à base de « *focus groups* ».

Une des premières études sur le sujet est celle de *Hallett et Stokes (1990)* qui, anticipant l'essor des terminaux mobiles (téléphones portables, *smart phones*, tablettes tactiles...) et de l'Internet auprès du grand public, supposaient que l'influence de la publicité sur le marché automobile serait modifiée par l'émergence de nouveaux produits technologiques, qui se substitueraient à la voiture comme symboles de pouvoir et de liberté dans l'imaginaire des consommateurs.

ITF (2013) souligne une tendance à la diversification des styles de vie qui, combinés avec le renforcement des contraintes financières pour un grand nombre de ménages, contribuent à réorienter tant les choix résidentiels que de mobilité. Si certains choisissent aujourd'hui des styles de vie moins axés sur la voiture, en affichant leur préférence pour d'autres modes de transport et les alternatives en ligne à la mobilité, toutefois l'adoption de ces styles de vie est souvent le fait de ménages disposant d'un niveau de vie élevé, compte tenu des tensions sur les marchés immobiliers au sein des zones urbaines denses. Ils soulignent que les inégalités croissantes et des conditions économiques défavorables, résultant dans des bas salaires et des taux de chômage élevés, contraignent les budgets pour un nombre croissant de ménages. Les coûts croissants de la préparation au permis de conduire et des assurances exacerbent ces contraintes, surtout pour les jeunes adultes.

A partir de l'exemple de l'Allemagne, *Klinger et al. (2010)* suggèrent que les comportements peuvent différer significativement d'une métropole à une autre en fonction des "cultures de mobilité" locales, qu'ils définissent comme résultant à la fois de l'organisation spatiale des métropoles, des politiques publiques et des attitudes collectives à l'égard des différents moyens de transport. Dans un même cadre général déterminé par le développement durable, le changement climatique et la perspective du "*peak oil*", les différentes métropoles soutiennent ainsi des options différentes pour orienter leur développement, certaines étant par exemple plus orientées vers le vélo, d'autres davantage vers les transports collectifs. La forme urbaine et l'offre existante d'infrastructures et de services de transport jouent donc un rôle déterminant dans la formation des habitudes locales de mobilité, mais celles-ci dépendent aussi des attitudes et des préférences individuelles ou au niveau d'une communauté. Cette dernière composante tend à revêtir une importance croissante avec la diversification des styles de vie dans une société de marché de plus en plus fragmentée. Sur quarante-quatre villes allemandes, les auteurs identifient six cultures de mobilité distinctes. Ainsi, des villes comme Copenhague, Groningen et Münster

privilégient l'utilisation du vélo, d'autres (Munich) les transports en commun. Parallèlement aux politiques nationales et internationales, les politiques et les habitudes locales contribuent donc aussi à la formation des comportements de mobilité.

Par ailleurs, le positionnement des modes en termes d'image évolue. En France par exemple, *Kaufmann et al. (2010)*, dans une étude publiée par le CERTU qui s'appuie sur les données du module "Opinions" des EMD "standard CERTU", ont cherché à déterminer si l'image des différents moyens de transport avait évolué depuis les années 1990, et la manière dont ce changement avait, le cas échéant, contribué à modifier les comportements de mobilité. Ils montrent que l'image des transports en commun et du vélo s'améliore, tandis que celle de la voiture se dégrade, ne recueillant plus que 57 % d'opinions favorables, un pourcentage en diminution par rapport aux décennies précédentes. Par ailleurs, seulement 18 % des personnes interrogées estiment que la voiture est encore un mode d'avenir. L'image de la voiture souffre en raison de la perception plus aigüe des nuisances environnementales qui lui sont généralement attribuées - congestion, bruit, pollution de l'air, insécurité routière, changement climatique - et de difficultés économiques qui rendent son usage plus coûteux (augmentation des prix des carburants, coûts d'achat et d'entretien des véhicules....). En outre, elle est de plus en plus considérée comme génératrice de stress. Parallèlement, toujours d'après les EMD, les transports collectifs seraient, davantage que par le passé, perçus comme pratiques, économiques et représentant un mode d'avenir. La perception du vélo s'améliore aussi, étant fréquemment qualifié de pratique, écologique et économique, une tendance qui est confirmée par l'ENTD, 63 % des adjectifs cités pour le qualifier par les personnes ayant répondu à cette enquête étant désormais positifs. *Papon et De Solère (2010)* observent que la mise en place des systèmes de vélo en libre-service dans une trentaine de villes françaises entre 2005 et 2010 a sans doute contribué à améliorer l'image du vélo, faisant notamment de celui-ci un mode de déplacement à part entière pour se rendre à son lieu de travail.

Les ménages semblent ainsi adopter une attitude plus flexible vis-à-vis des différents moyens de transport, qui sont utilisés dès lors qu'ils répondent de manière adéquate aux besoins des utilisateurs. Les mentalités tendent donc à s'orienter de manière plus favorable aux modes « alternatifs », et les comportements de mobilité à se rationaliser. Toutefois, la signification de ces études demeure ambivalente. Il est peu probable, en effet, qu'elles indiquent une désaffection générale pour la voiture. Ainsi, toujours selon le volet « opinions » des EMD, la voiture continue d'être perçue comme nécessaire, pratique, rapide et confortable, et associée à une notion de plaisir (*Guidez et De Solère, 2012*). Elle demeure en outre synonyme d'indépendance et de liberté pour 90 % des individus (*TNS Sofres/Chronos, 2010*).

Par ailleurs, la voiture ne constitue pas encore un bien parfaitement banalisé (*Choquet, 1983*), et demeure un symbole de statut social. *Coulangeon et Petev (2013)* soulignent que la diffusion de l'automobile, en homogénéisant les niveaux d'équipement dans les différents groupes sociaux, entraîne un déplacement des clivages symboliques plutôt que leur disparition. Le multi-équipement, l'achat de véhicules neufs plutôt que d'occasion, la préférence pour les berlines allemandes dans les professions indépendantes, demeurent ainsi des marqueurs sociaux, dans le sens où ils sont non seulement inégalement distribués selon les groupes sociaux, mais constituent également des moyens de distinction et de compétition statutaire au plan symbolique. Par exemple, un tiers des chefs d'entreprises et des professions libérales possèdent des véhicules de marque allemande en 2008, contre 17 % en 1994 et 12 % en 1982. En outre, ils achètent majoritairement des véhicules neufs, contre un peu moins de la moitié des cadres et moins d'un quart des ouvriers.

Inversement, les modes collectifs, bien que décrits comme étant d'avenir et bon marché, sont souvent perçus sous l'angle de la contrainte. Ainsi que le soulignent *Guidez et De Solère (2012)*, un des enjeux des politiques futures de mobilité consisterait dans ce cas à changer la perception des transports collectifs en mettant tout en œuvre pour les rendre plus agréables pour les usagers. Les opinions tendent ainsi à internaliser la perception de certains enjeux collectifs, notamment environnementaux, qui ne coïncident pas nécessairement avec les besoins individuels, ce qui peut être à l'origine d'une « dissonance cognitive » entre les représentations et les pratiques (*Rocci, 2007*). Aussi, les mêmes enquêtes ménages qui mettent en évidence des changements dans les attitudes et les opinions individuelles montrent aussi que ceux-ci n'impliquent pas nécessairement une transformation effective des pratiques, qui demeurent tributaires des contraintes de la vie quotidienne. Ainsi, la voiture continue d'être plébiscitée dans les faits, et d'assurer la majorité des déplacements.

L'évolution de l'image des différents modes suggère en fait une tendance à la rationalisation des comportements, dans laquelle les avantages pratiques et économiques passeraient au premier plan, devant les aspects symboliques ou les notions de plaisir. Cette évolution pourrait résulter du renforcement des contraintes financières pour les ménages, résultant de l'augmentation des prix des carburants, du poids des postes budgétaires pré-engagés et de la récession, conduisant les utilisateurs des transports à revoir leurs priorités et leurs critères d'arbitrage. Toutefois, sans entraîner une rupture des comportements, cette évolution constitue une inflexion notable et un changement de paradigme. Elle ouvre la voie, en effet, au marché de la voiture en tant que service, et non plus seulement comme bien d'équipement durable. L'auto-partage, le covoiturage et la location de véhicules bénéficient de ces changements dans les représentations. Par ailleurs, le potentiel des modes alternatifs s'en trouve renforcé, pourvu toutefois que l'offre disponible réponde aux aspirations fondamentales des individus en termes de confort, de sécurité, de fiabilité, et de lisibilité, notamment.

II.1.a.7) Technologies de la communication et déplacements générés par les activités

Pour certains auteurs, le déploiement des technologies de la communication (Internet, *smartphones*, tablettes tactiles...) dans une grande variété de contextes (réseaux sociaux, commerce électronique, télétravail...) aurait réduit le besoin de mobilité, en permettant à un certain nombre d'activités d'être réalisées à distance. En France, *Ricroch et Roumier (2011)* observent une augmentation du temps passé en moyenne par chaque Français sur Internet pour ses loisirs entre les deux dernières enquêtes *Emploi du Temps* : certaines activités tendraient ainsi à se recentrer sur l'intérieur du domicile, ce qui pourrait avoir entraîné une baisse de la mobilité. D'autres analyses suggèrent l'existence d'effets de substitution entre communications électroniques et déplacements physiques. Par exemple, *Choo et al. (2005)* montrent, à partir d'une analyse multi-variée de séries temporelles à l'échelon national, que le développement du télétravail contribuerait à réduire la circulation automobile, de manière bien plus avantageuse que le transport public. De même, *Sivak et Schoettle (2012)* indiquent une relation inverse entre l'évolution du taux de titulaires du permis de conduire chez les jeunes adultes et la diffusion de l'Internet dans une quinzaine de pays développés. Selon *ITF (2013)*, environ un tiers du déclin de l'usage de la voiture chez les jeunes adultes pourrait s'expliquer par le recours aux communications électroniques, ce déclin portant surtout sur les déplacements sociaux de visites à la famille et aux amis. *Burwell (2012)* atteint une conclusion analogue et suppose que les réseaux sociaux basés sur Internet constituent un moyen d'interaction plus important chez les jeunes. *Rentziou et al. (2012)* montrent de plus que l'augmentation des échanges électroniques réduirait la fréquence des déplacements courts sur les routes secondaires aussi bien dans les zones

urbaines que rurales, et de certains déplacements plus longs sur les autoroutes et les voiries urbaines rapides. Enfin, un sondage récent de *TNS* ainsi qu'une étude de *KCR* cités par *The Economist* (2012) montrent que les *media* sociaux sont jugés plus importants que la voiture pour les relations sociales chez les jeunes adultes.

Mokhtarian (2003) critique néanmoins ce type d'approches. En effet, d'une part il semble difficile d'établir une relation de causalité directe entre les deux phénomènes, qui peuvent aussi bien être déterminés conjointement par un troisième facteur (évolution des modes de vie, des mentalités, etc.). Mais d'autre part, les relations entre télécommunications et mobilité sont plus complexes. L'auteur souligne que bien que de nombreuses études mettent en évidence une relation de substitution, ces études sont généralement à court terme et ne se focalisent que sur les effets directs et pour un seul motif de déplacement. En réalité, de multiples effets interagissent, dont elle propose une classification en quatre catégories : substitution, complémentarité, modification et neutralité. Le concept de complémentarité correspond au cas où l'introduction d'un nouveau mode de communication stimulerait la demande de déplacement plutôt que de s'y substituer, par exemple en apportant de l'information sur les opportunités d'activités à l'extérieur du domicile. La modification correspond au cas où l'utilisation d'un mode de communication modifie certains aspects de la demande de déplacements, sans l'augmenter ni la diminuer : par exemple, l'information sur l'état du trafic diffusée *via* les terminaux mobiles permet aux voyageurs d'adapter leur itinéraire en temps réel en fonction des conditions de circulation. Enfin, le cas de neutralité correspond au cas où l'utilisation d'un mode de communication ne modifie pas les pratiques de mobilité. *ITF* (2013) souligne également le caractère complexe des interactions entre télécommunications et mobilité, avec des effets potentiels multiples et contradictoires : report de la voiture vers les modes collectifs, qui facilitent les activités en ligne, substitution des communications électroniques à la présence physique pour certaines activités, développement d'alternatives à la possession d'un véhicule (par exemple l'auto-partage), etc. *Mokhtarian* (2003) montre que si des preuves assez solides d'une relation de complémentarité existent, celles d'une relation de substitution sont assez maigres. Elle suggère que l'impact global du déploiement des technologies de l'information sur la mobilité pourrait consister dans une croissance plus rapide des télécommunications que des déplacements, conduisant à une part croissante des interactions à distance, avec néanmoins une poursuite de l'augmentation du volume de déplacements en termes absolus. De même, selon une étude de *Delbosc et Currie* (2013) à base de focus groups auprès des jeunes adultes, les moyens de communication modernes n'apparaissent pas comme un substitut aux interactions physiques, mais plutôt comme un moyen de les renforcer, de même, observent les auteurs, que la diffusion du téléphone n'a pas supprimé la nécessité de se déplacer.

Van den Waard et al. (2013) observent que, d'après les études disponibles, le commerce électronique conduirait seulement à un léger déclin de la fréquence et des distances des déplacements pour motifs d'achats, compensé par un léger accroissement du transport de marchandises. En effet, les produits achetés sur Internet doivent être livrés au domicile ou au lieu de travail, de sorte que presque 80 % des achats en ligne génèrent un mouvement de marchandises (*Weltevreden et Rotem-Mindali*, 2009). Par ailleurs, le commerce électronique entre individus, par exemple à travers des sites comme *e-bay*, conduit à des fréquences et à des distances de déplacements plus élevées, aussi bien pour les déplacements des voyageurs que des marchandises (*Weltevreden et Rotem-Mindali*, 2009).

Van den Waard et al. (2013) observent que le télétravail a aussi des effets contradictoires sur la mobilité. Si l'effet direct est bien un effet de substitution, les déplacements vers le travail économisés sont parfois mis à profit pour effectuer d'autres déplacements, comme pour accompagner les enfants à l'école, ce qui tend à réduire l'effet à la baisse du télétravail sur la

mobilité totale. La voiture qui n'est plus utilisée par le télétravailleur peut aussi être utilisée dans ce cas par le conjoint. De plus, l'impact du télétravail sur la mobilité est encore mineur car celui-ci ne s'est pas encore significativement développé.

Le sujet le mieux documenté semble être l'effet des communications en ligne sur les pratiques de loisirs et les réseaux sociaux. Toutefois, les résultats des études sur ce sujet semblent là aussi partiellement contradictoires. Certaines études semblent indiquer que les contacts sociaux à travers Internet entraîneraient une diminution des déplacements à motif social (*Veldkamp, 2012*). Cependant, les études empiriques récentes n'indiquent pas d'effet de substitution (*Andreev et al., 2010*), les activités sur les réseaux sociaux à travers Internet semblant surtout faciliter le maintien des contacts existants (*Boyd et Ellison, 2007*). Il pourrait aussi y avoir un léger effet induit, en raison du désir de rencontrer physiquement les personnes contactées sur Internet. Finalement, les télécommunications peuvent également avoir des effets de modification : par exemple en raison des équipements mobiles, le lieu et le temps des rencontres peuvent être rapidement modifiés selon les contraintes d'emploi du temps. Il y a cependant dans l'ensemble davantage de preuves de l'existence d'effets de substitution pour les visites à la famille et aux amis que pour les autres motifs (*Veldkamp, 2012 ; ITF, 2013*). En ce qui concerne les loisirs au contraire, une discussion à base de *focus groups* tend à montrer que l'utilisation d'Internet contribuerait plutôt à augmenter la fréquence des déplacements à longue distance, dans la mesure où Internet apporte une fonction d'alerte pour les événements, festivals et autres activités. Ces déclarations sont cohérentes avec les résultats des enquêtes transport sur l'évolution de la fréquence et de la durée des déplacements par motifs. Par exemple dans l'agglomération de Strasbourg, le temps consacré par les mineurs à rendre visite à la famille et aux amis a reculé de 47 à 32 mn par jour entre 1997 et 2009, la mobilité correspondante diminuant également (*ADEUS, 2010*).

Puentes (2013) souligne que, quel que soit l'effet net des télécommunications sur la mobilité qui demeure encore mal évalué, la majeure partie des analystes s'accordent néanmoins à reconnaître que les technologies de la communication auront des répercussions de la plus haute importance, tout en pointant, dans le contexte américain qui autorise les statistiques ethniques, la fracture digitale émergente entre les personnes de race blanche et les autres communautés. L'ensemble des auteurs qui abordent le sujet de la relation entre télécommunications et mobilité soulignent la fragilité des résultats obtenus et le besoin de recherches plus approfondies avec des méthodologies plus rigoureuses. La problématique, d'ailleurs, n'est pas d'une nature fondamentalement différente de celle qui a dû se poser lorsque d'autres moyens de communication tels que le téléphone se sont développés, et une fouille « archéologique » dans les débats et les études d'époque pourrait certainement apporter un éclairage intéressant sur ces questions.

II.1.b) Le processus d'ajustement des ménages aux augmentations de prix des carburants

II.1.b.1) Mécanismes d'adaptation à court et à long terme

Nous revenons dans cette section sur la question centrale des modalités d'adaptation des ménages aux prix des carburants, qui a été identifiée dans la revue de la littérature comme étant probablement l'une des causes principales du plafonnement de l'usage de la voiture. En premier lieu, on rappelle les principaux enseignements de la littérature sur la temporalité des adaptations des agents économiques – individus ou ménages – aux variations de prix des carburants. La plupart des recherches et des études sur le sujet font en effet état de réactions différenciées à

court terme et à long terme. Ainsi par exemple, *Calvet et Marical (2011)* estiment que les élasticités-prix de la consommation de carburant varient dans une fourchette se situant entre - 0,25 et - 0,35 à court terme, et entre -0,6 et - 0,7 à long terme. Ces résultats sont cohérents avec ceux trouvés par *Johannsson et Schipper (1997)*, qui montrent qu'un renchérissement de 10 % des prix à la pompe entraîne une réduction de 7 % de la consommation à long terme. De même, *Goodwin (2013)* observe que, d'après la littérature, les comportements de mobilité des ménages sont relativement inélastiques à court terme, mais beaucoup plus flexibles à long terme, permettant le remplacement d'anciennes habitudes par de nouvelles, notamment à l'occasion de nouvelles étapes du cycle de vie, ce que relève également *Meissonnier (2015)*.

De façon générale, on peut considérer que la question des modalités d'adaptation des ménages à l'augmentation des prix de l'énergie recouvre au moins trois aspects distincts et complémentaires:

- **L'opportunité de l'adaptation** : on peut supposer que des changements importants dans les comportements présentent un certain coût psychologique, et qu'avant d'envisager de modifier leurs habitudes, les ménages doivent avoir interprété l'information comme un signal clair, justifiant rationnellement le déploiement d'une stratégie de réorganisation à long terme. A cet égard, il semble que le processus de décryptage de l'information pertinente transmise par le signal-prix soit plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord, et que celle-ci combine plusieurs dimensions. La plus classiquement étudiée est l'amplitude de l'augmentation des prix, qui est supposée jouer le rôle le plus important, et constitue en général le point focal des études qui cherchent à estimer les élasticités-prix du trafic automobile ou de la consommation de carburant. Toutefois, d'autres dimensions semblent également jouer un rôle significatif, en particulier la durée des augmentations de prix, ainsi que leur volatilité (*Kemel et al., 2010 ; Collet et al., 2013*). On peut en effet supposer que, tant que les prix des carburants fluctuent autour d'une tendance stationnaire, les ménages n'ont pas de raisons de modifier leurs comportements en profondeur, et qu'une stratégie peu coûteuse consiste dans ce cas à les faire évoluer à la marge par de simples ajustements. En revanche, dans le cas d'une hausse durable étalée sur plusieurs années, l'information transmise par le signal-prix devient signifiante, et il devient alors rationnel de mettre en oeuvre une stratégie à long terme de maîtrise des consommations de carburant, et si nécessaire, de l'usage des véhicules ;
- **L'amplitude et la temporalité de l'adaptation**: la plupart des études économétriques étudiant la manière dont les ménages réagissent aux augmentations de prix des carburants se focalisent sur l'amplitude et la temporalité des adaptations, qui peut être étudiée par le moyen de modèles dynamiques. Ces études postulent généralement la symétrie des réactions des agents économiques en cas de hausse comme en cas de baisse des prix, une hypothèse qui sera discutée dans la section II.3.c.4. L'amplitude et la temporalité des adaptations sont sans doute corrélées, tout comme l'évaluation de leur opportunité, à la fois à l'amplitude, à la durabilité et à la volatilité des variations de prix, dont découlent des niveaux variables de contrainte financière et de risque pour les agents économiques. Compte tenu de ce qui précède, on peut également supposer que le temps d'adaptation est constitué d'au moins deux temps distincts : d'une part, le temps nécessaire pour que l'information acquière un caractère significatif, justifiant par là-même la nécessité de l'adaptation ; d'autre part, le temps nécessaire à la mise en oeuvre d'une stratégie d'adaptation, par exemple pour changer de lieu de résidence ou encore pour constituer le capital nécessaire à l'acquisition d'un nouveau véhicule, moins consommateur d'énergie.

- **Les moyens utilisés pour réduire la consommation de carburant et/ou l'utilisation des véhicules** : les études économétriques du trafic automobile et de la consommation de carburants sont le plus souvent concentrées sur des mesures globales du changement, mais ne permettent pas d'en établir les modalités précises, c'est-à-dire la manière dont les ménages sont parvenus à réduire leur consommation et/ou leur mobilité. Par exemple, une réduction de la distance parcourue quotidiennement peut être obtenue soit par un raccourcissement des distances de déplacements, soit par un report vers d'autres moyens de transport, ou encore par un renoncement à effectuer certains déplacements. Cette lacune dans la connaissance tient en partie à la nature des données utilisées, les séries annuelles de kilométrages parcourus et de trafic ne permettant pas de déterminer les évolutions de comportements sous-jacentes aux variations des indicateurs. En outre, les enquêtes nationales transport, qui permettent de connaître les comportements de mobilité, sont effectuées à des intervalles de plus en plus distants, et ne permettent donc pas un suivi en continu de l'évolution des comportements.

A court terme, et dans la mesure où les hausses des prix des carburants demeurent modérées ou ne présentent pas un caractère prolongé, les ménages cherchent généralement à compenser la hausse des prix des carburants par une utilisation des véhicules moins intensive, qui peut être obtenue de différentes manières :

- A travers le renoncement à certains déplacements discrétionnaires : par exemple, la réduction des déplacements de retour au domicile lors de la pause méridienne soulignée par *Hubert et al. (2013)* pourrait au moins partiellement s'inscrire dans le cadre d'une telle stratégie, ou encore, la réduction du nombre annuel de déplacements à longue distance. Toutefois, on n'observe pas, pour l'instant, de réduction globale de la fréquence des voyages à longue distance au niveau global, du moins à partir de l'Enquête Nationale Transports qui a été réalisée avant que la récession de 2009, consécutive à la crise financière des « *subprimes* », ne produise pleinement ses effets en France. Celle-ci avait encore augmenté, bien qu'à un rythme nettement ralenti par rapport à la période 1982-1994, entre les dernières Enquêtes Nationales Transport de 1994 et 2008. En revanche, les données de l'enquête annuelle *Suivi de la Demande Touristique (SdT)* suggèrent un léger recul du taux de départs en vacances, de 78,8 à 76,7 % entre 2009 et 2011, probablement imputable à la crise économique (*Source : DGCIIS, enquête SdT*);
- A travers le choix de destinations plus proches du domicile pour certaines activités. Ces tendances ne semblent cependant pas présenter un caractère général. Si on observe bien une modération de l'évolution des distances pour les déplacements non-contraints, en revanche la distance des déplacements vers le lieu de travail ou d'études continue d'augmenter. Il semble en fait plutôt que les individus compensent l'augmentation des distances des déplacements contraints par une réduction de leur fréquence, de manière à maintenir leur budget-temps quotidien constant, ce qui correspond à la première stratégie;
- Une troisième manière de réduire l'utilisation des véhicules consiste à effectuer certains déplacements en commun plutôt que de manière isolée, ce qui se traduit par une hausse des taux d'occupation des véhicules. Ce type de réactions est toutefois largement compensé par la tendance à l'individualisation des déplacements, en particulier pour les motifs liés au travail, accompagnant la diffusion du second véhicule au sein des ménages constitués de deux actifs.

A plus long terme, et si les augmentations de prix des carburants s'avèrent importantes et/ou durables ou bien si ces derniers sont caractérisés par une forte volatilité, les adaptations peuvent être de nature plus substantielles, ainsi que le montrent *Collet et al. (2013)*. Dans ce cas, on peut supposer qu'elles impliquent une réorganisation plus ou moins complète du mode de vie et de la mobilité quotidienne en vue de maîtriser la facture énergétique de la mobilité, pouvant consister en diverses mesures, par exemple :

- Un report modal de l'un des membres du ménage vers les transports collectifs, en présence d'une offre satisfaisante ;
- Des décisions de démotorisation (*Dargay et al., 2003*) ;
- La relocalisation du ménage dans une zone moins dépendante de l'automobile, par exemple en centre-ville ou en coeur d'agglomération.
- L'achat de véhicules plus efficaces : les progrès de l'efficacité énergétique du parc de véhicules du ménage au cours des deux dernières décennies ont surtout été obtenus par le moyen de la *dieselisation* du parc, les véhicules *diesel* étant habituellement moins consommateurs que les véhicules *essence*. Les prix du gazole sont également inférieurs aux prix de l'essence, et la durée de vie des véhicules *diesel* est réputée plus importante. Dans l'ensemble, les véhicules *diesel* présentent donc des coûts d'usage inférieurs à ceux des véhicules *essence*, ce qui les rend plus avantageux pour les ménages et les entreprises, notamment les taxis, qui bénéficient de ristournes sur les taxes.

L'ordre de priorité de mise en œuvre de ces mesures - qui peut toutefois différer au cas par cas - est fondé sur l'hypothèse selon laquelle les ménages cherchent en général à prioriser des mesures d'économie simples qui ne remettent pas en cause de manière drastique leur mode de vie et qui leur permettent de continuer à pourvoir à leurs besoins de mobilité essentiels, avant de commencer à envisager des adaptations de nature plus substantielles, qui conduisent soit à des sacrifices, soit à une transformation de leurs conditions d'existence. Ces adaptations ne peuvent être réalisées de manière immédiate, mais nécessitent un temps d'arbitrage et de réorganisation dans la vie du ménage.

Il est probablement très rare que l'augmentation des prix de l'énergie motive à elle seule des décisions aussi drastiques qu'une relocalisation, mais elle peut en revanche modifier la hiérarchie des critères de choix résidentiel en cas de déménagement, à l'occasion d'une transition entre deux étapes du cycle de vie, les ménages devenant alors plus sensibles au choix d'une localisation plus résiliente (*Meissonnier, 2015 ; Cascajo et al., 2014*). Les décisions de relocalisation résidentielle, d'une manière générale, tendront à n'être envisagées qu'en dernier ressort, car elles présentent un coût non seulement financier, organisationnel et psychologique, mais elles peuvent également entraîner une perte de repères sociaux, en rendant plus difficile la conservation des anciens réseaux relationnels des conjoints et des enfants. Le choix résidentiel à l'occasion d'un déménagement est également susceptible de générer une mise en tension du ménage, qui porte simultanément sur la capacité de conciliation des activités professionnelles respectives des conjoints, ainsi qu'entre vie professionnelle et vie familiale (*Vignal, 2005 ; Vincent et al., 2010*). Observons enfin que des décisions de relocalisation résidentielle en centre-ville ou en coeur d'agglomération, des zones *a priori* moins dépendantes de l'automobile, peuvent être entravées par le déficit d'offre financièrement accessible pour les classes moyennes, ce qui peut conduire à limiter l'univers de choix envisageable dans la pratique (*Vanco, 2012*). Les effets d'une crise économique majeure peuvent ainsi être paradoxaux, dans la mesure où la combinaison du

chômage avec la rigidité des marchés immobiliers (prix des logements, coût d'un déménagement élevé) tendra à freiner la mobilité résidentielle des ménages et, a contrario, à augmenter les distances des déplacements contraints. En effet, la recherche d'un emploi plus éloigné du domicile peut conduire à un accroissement des distances entre le domicile et le lieu de travail, qui sera compensé par une baisse de la mobilité pour motifs non-contraints (*Cascajo et al., 2014*).

Contrairement aux autres mesures à long terme, la stratégie de modernisation des véhicules est avantageuse pour les ménages car elle n'implique pas une réorganisation complète du mode de vie. C'est pourquoi elle tend à être largement plébiscitée, et privilégiée sur les autres solutions plus coûteuses. Elle peut toutefois nécessiter du temps, à la fois pour la prise de décision, qui représente un arbitrage interne au ménage et implique une négociation entre ses membres, ainsi que pour constituer l'épargne nécessaire, compte tenu de l'investissement que représente l'achat d'un nouveau véhicule, même si les facilités de crédit combinées avec le développement du marché de l'occasion, qui conduit à faire baisser les prix d'acquisition des véhicules, tendent à desserrer cette contrainte. En raison du temps nécessaire pour mettre en oeuvre l'ensemble des mesures d'adaptation, les augmentations de prix des carburants entraînent des réductions plus importantes des consommations à long terme qu'à court terme (*Walker and Wirl, 1993; Johansson and Schipper, 1997*).

Dans le cas par exemple d'une transition entre un véhicule ayant une motorisation *essence* et un véhicule de type *diesel*, le changement de véhicule permettra tout à la fois de réduire le prix unitaire du carburant et la consommation, entraînant au final un coût d'usage de la voiture nettement diminué. Cependant, les réductions de l'usage de la voiture peuvent ne pas être aussi importantes que prévues, notamment en raison de "l'effet de rebond" (*Greene, 1992; Greene et al., 1999 ; Greening et al., 2000*), dans la mesure où les agents - ménages ou individus - tirent parti de la baisse des coûts d'usage de la voiture pour intensifier leur mobilité, à coût constant. Cet effet tend à compenser au moins partiellement l'impact de l'augmentation des prix des carburants sur l'usage des véhicules et la consommation de carburant. Le renchérissement des carburants pousse aussi les constructeurs à proposer des modèles moins gourmands.

Une manière alternative de modéliser la sensibilité des agents économiques aux fluctuations des prix de l'énergie consiste à considérer qu'ils réagissent, non aux prix des carburants (en €/l), mais au coût d'usage des véhicules (en €/km). Ainsi, même en cas de prix du carburant inchangé, on pourra supposer qu'un progrès de l'efficacité énergétique des véhicules est susceptible d'entraîner un effet de rebond dans la demande, car on endogénéise les consommations qui ont un impact sur le coût d'usage final. De la même manière, des ménages utilisant des véhicules hétérogènes au regard de leur consommation unitaire seront également susceptibles de présenter des niveaux d'usage hétérogènes. Or, à court terme, la motorisation est généralement inchangée, l'automobile constituant un investissement de moyen terme, de sorte qu'au même horizon :

- L'efficacité énergétique peut être considérée constante ;
- Les coûts d'usage des véhicules évoluent de la même manière que les prix des carburants ;
- Et les élasticités de court terme au coût d'usage en carburant sont équivalentes aux élasticités de court terme aux prix des carburants (*Goodwin et al., 2004*).

A long terme en revanche, les élasticités au coût d'usage en carburants tendront à être supérieures aux élasticités au prix du carburant (*Goodwin et al., 2004*). En outre, les choix de motorisation tendent à être endogènes par rapport aux prix des carburants, les "gros rouleurs"

ayant tendance à privilégier davantage que les autres utilisateurs les motorisations moins coûteuses telles que le *diesel*. La corrélation constatée entre les niveaux d'usage et le type de motorisation pourrait donc traduire, non seulement l'effet de rebond induit à long terme par la baisse du coût d'usage des carburants, mais également l'endogénéité du choix de motorisation par rapport au coût d'usage en carburant. Cependant, avec la diffusion de plus en plus générale des motorisations *diesel*, le véhicule *diesel* tend à devenir la "*voiture de monsieur tout le monde*" (Roux, 2012). En particulier, depuis l'an 2000, le *diesel* aurait, en raison du choc induit par la forte hausse des prix de l'énergie, changé de statut, passant d'un véhicule permettant de « *rouler plus en dépensant moins* » à celui de véhicule permettant de « *maintenir un usage constant en dépit de prix plus élevés* » (Hivert, 2011).

Aussi bien l'amplitude que la temporalité et les modalités d'adaptation des ménages dépendront sans doute de la gravité de la crise à laquelle ils doivent faire face. La distinction entre scénarios de crise modérée et renforcée, débouchant dans le premier cas sur des ajustements à la marge, dans le second sur des adaptations critiques, est par exemple montrée par Cascajo et al. (2014), qui étudient l'impact d'une crise économique majeure sur les comportements de choix résidentiel et de mobilité. Une approche possible consiste alors à classifier les scénarios selon l'intensité et la durée de la crise. ARCADIS-TRANSAE-LET (2012), dans le cadre du projet RUPTURES, testent l'impact de quatre scénarios de crise progressifs, allant d'un simple renforcement de la crise actuelle à une crise « *forte et durable* ». Les auteurs soulignent que les crises sont globalement des facteurs d'accélération des changements, contraignant les ménages à élargir leur univers de choix en considérant des possibilités qu'ils n'auraient pas envisagé avant la crise, où dont ils différeraient la mise en oeuvre. Les scénarios sont testés auprès de « *focus groups* » constitués de personnes en âge de travailler de l'agglomération lyonnaise, une technique permettant d'intégrer les effets des dynamiques de groupe sur la formation des comportements. Les hypothèses des scénarios sont relativement extrêmes : à titre d'exemple, dans le scénario de « *crise forte et durable* », le pouvoir d'achat est diminué de 50 %, le carburant est rationné et atteint 5 €/l, le marché immobilier est bloqué, les services de transport collectifs ne sont plus assurés, le tout pendant une durée de dix ans. A partir des critères de durée et d'intensité, quatre scénarios contrastés peuvent être formulés :

- **Elasticité** : crise modérée et de courte durée. Les ménages adaptent leurs comportements à la marge, les modifications de comportements sont réversibles, les modes de vie demeurent inchangés ;
- **Evolution lente qui met en tension les comportements** : il s'agit d'une crise modérée mais de longue durée. Les agents tendent aussi longtemps que possible à préserver leurs modes de vie, mais avec de plus en plus de difficultés. Aussi, les évolutions des comportements sont lentes mais durables ;
- **Ajustement** : crise forte mais de courte durée. Cette crise constitue un signal fort, susceptible de déclencher un choc et d'amener les personnes touchées à reconsidérer certains choix de vie. Les choix de transport sont rationalisés, par contre la crise a peu d'impact sur le choix de lieu de résidence ;
- **Rupture durable** : crise forte et prolongée. Dans ce cas, la proportion de personnes touchées est plus importante, et une part significative d'entre elles sont amenées à reconsidérer complètement leur mode de vie. Le recours aux solidarités sociales et familiales est important.

Les modifications de comportements acquièrent donc un caractère plus durable dans le cas d'une crise prolongée et sévère, les ménages recherchant alors des solutions résilientes. Au regard de cette typologie, les réactions à la forte hausse des prix des carburants de l'an 2000 semblent pouvoir s'inscrire dans le cadre d'un scénario d'«*ajustement*» résultant d'une crise soudaine et brève, susceptible d'avoir déclenché des stratégies de rationalisation des comportements à long terme, et non seulement des réactions au fil de l'eau aux fluctuations des prix. Les ménages auraient donc revu à la baisse leur niveau d'utilisation des véhicules. En outre, le caractère prolongé de la hausse des prix des carburants, associé à leur forte volatilité, qui a conduit à deux nouveaux sommets en 2008 puis en 2012, n'ont pu que contribuer à renforcer la légitimité de ces stratégies aux yeux des ménages. Selon cette hypothèse, le choc de l'an 2000 pourrait marquer la transition d'un régime de comportement à un autre. Nous reviendrons ultérieurement sur cette hypothèse dans la section II.2.a.6.

Dans l'ensemble, et en dépit d'une production abondante, les comportements sous-jacents à l'étude de la sensibilité aux prix des carburants demeurent donc relativement mal connus, et nécessiteraient des recherches plus approfondies, afin de déterminer les modalités précises des processus d'adaptation sous un angle plus qualitatif. En reprenant les concepts présentés ci-dessus, il nous paraîtrait nécessaire, en particulier, d'approfondir les questions suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques du signal-prix (sens de variation, amplitude, volatilité, durée...) pertinentes avec quelles influences sur les comportements ?
- Comment le temps d'adaptation se décompose-t-il entre temps d'opportunité et temps de mise en oeuvre ?
- Quelles sont les modalités précises d'adaptation (report modal, réduction de la fréquence et/ou de la distance des déplacements, augmentation du taux d'occupation, choix résidentiels...) ?

La résolution de ces questions passe en partie par le recours à des méthodes économétriques. Toutefois, un certain niveau de finesse dans l'analyse ne pourra être obtenu que par le moyen d'approches plus qualitatives, par exemple à base de *focus groups* ou d'entretiens.

II.1.b.2) Une capacité d'adaptation hétérogène en fonction du lieu de résidence et du niveau de vie

Selon le lieu de résidence

Quelques recherches mettent en évidence l'hétérogénéité des réactions aux augmentations de prix des carburants au sein de la population, aussi bien selon le lieu de résidence qu'en fonction de la position sociale. En ce qui concerne l'effet du lieu de résidence, plusieurs études économétriques montrent que les niveaux d'équipement automobile et d'usage de la voiture sont, au moins à court terme, moins sensibles chez les ménages habitant les zones rurales et périurbaines, que chez les résidents des agglomérations. Cette moindre sensibilité peut être interprétée comme le reflet de la captivité des résidents des espaces d'urbanisation diffuse vis-à-vis de la voiture, également qualifiée de dépendance automobile. En effet, les résidents de ces espaces disposent en général de peu d'alternatives à la voiture, alors que les habitants des agglomérations peuvent se reporter vers le transport public et les modes « actifs ».

Ainsi, *Dargay (2002)* par exemple, en utilisant une approche de type “pseudo-panel”, dans laquelle les individus sont regroupés en cohortes dont on suit les trajectoires au cours du temps, estime des élasticités de l'équipement automobile aux revenus et aux prix des carburants, à partir d'un modèle d'ajustement partiel²¹, pour différents types de zone de résidence. Les données utilisées sont issues des *UK Family Expenditure Surveys (FES)*, l'équivalent britannique des enquêtes *Budget des Familles* en France, qui sont réalisées depuis les années 1960 sur un rythme quinquennal, auprès d'un échantillon annuel d'environ 7 000 ménages. L'étude, qui porte sur l'équipement automobile des ménages entre 1983 et 1995, montre que l'élasticité du taux de motorisation au revenu et au prix du carburant est plus faible dans les zones rurales que dans les zones urbaines. Ainsi :

- Les élasticités-revenu du taux de motorisation, sont respectivement de + 0,36 à court terme et + 0,50 à long terme dans les zones urbaines, contre + 0,25 et + 0,34 dans les zones rurales ;
- Les élasticités du taux de motorisation au coût d'usage en carburants sont respectivement de - 0,10 à court terme et - 0,14 à long terme dans les zones urbaines, contre - 0,06 et - 0,08 à dans les zones rurales ;
- Les élasticités du taux de motorisation au coût d'acquisition des véhicules sont respectivement de - 0,44 à court terme et - 0,60 à long terme dans les zones urbaines, contre - 0,23 et - 0,31 dans les zones rurales.

Kemel et al. (2010), à partir d'un modèle à équations structurelles de l'efficacité énergétique des véhicules et de l'usage de la voiture, montrent, sur un sous-échantillon de ménages de *ParcAuto* suivis de 1999 à 2007, que l'élasticité-prix de la consommation de carburant est plus faible pour les habitants des zones rurales que pour les habitants des zones urbaines, quel que soit le niveau de vie de la population. Ainsi, pour les plus modestes, l'élasticité de court terme au prix des carburants varie de - 0,20 dans les zones rurales à - 0,26 dans les zones urbaines. De même, pour les ménages des classes moyennes, elle s'élève à - 0,23 dans les zones rurales contre - 0,28 dans les zones urbaines. Enfin, pour les plus riches, elle s'élève à - 0,14 dans les zones rurales contre - 0,31 dans les zones urbaines.

Calvet et Marical (2011), estimant les élasticités-prix des dépenses en carburant à partir de la série des enquêtes *Budget des Familles* de l'INSEE, interprètent les estimations transversales comme des élasticités de court terme²². Pour obtenir des estimations de long terme, ils s'appuient sur un modèle dynamique, estimé sur un pseudo-panel constitué à partir de la série des enquêtes *Budget des Familles* de 1985 à 2006, en analysant l'évolution de la dépense en carburants par cohortes supposées homogènes, et en distinguant notamment le comportement des urbains et des ruraux. Ils montrent que l'élasticité de long terme de la dépense en carburants par rapport aux prix des carburants est à peine légèrement plus faible chez les ménages ruraux - avec une valeur moyenne

²¹ Il s'agit d'un type particulier de modèle dynamique dans lequel la variable dépendante est retardée d'une période. On y suppose que l'écart entre le niveau de motorisation souhaité à long terme et le niveau de motorisation actuel est partiellement rattrapé en l'espace d'une année, selon un certain rythme d'ajustement qui constitue l'un des paramètres du modèle, d'où son nom. Nous reviendrons sur cette spécification lorsque nous estimerons un modèle dynamique de kilométrage par adulte sur séries temporelles dans la section II.2.a.5.

²² Nous reviendrons sur cette interprétation dans la section II.3.c, dans laquelle nous discuterons du rapport entre mesures d'hétérogénéité et de sensibilité, ou entre élasticités « transversales » et « longitudinales ».

entre - 0,7 et - 0,8 - que chez les ménages urbains, pour lesquels elle varie entre - 0,8 et - 0,9. Ils en déduisent qu'en dépit de capacités d'adaptation restreintes à court terme en raison du manque de solutions de transport en commun, les ménages ruraux et périurbains sont en mesure de réduire leur consommation de carburant à long terme.

On peut d'ores et déjà observer à travers la comparaison des résultats de cette étude avec ceux de l'étude de *Dargay (2002)* que le taux de motorisation semble *a priori* beaucoup moins sensible aux variations de prix des carburants que l'usage des véhicules, un résultat qui sera confirmé par la modélisation que nous mettrons en œuvre dans la section III.2, ainsi que par la revue de la littérature existante à laquelle nous confronterons nos résultats pour conclure le chapitre consacré à la présentation de notre modèle. On observe également que la différence de sensibilité à long terme à l'évolution des conditions économiques entre les résidents des zones denses et ceux des zones peu denses porte davantage sur le taux de motorisation que sur l'utilisation des véhicules, ce qui peut s'expliquer par la plus grande nécessité de disposer d'un véhicule individuel dans les zones peu denses. Il est en revanche plus facile de mettre en œuvre, à long terme, une réduction de l'usage individuel de chaque véhicule et/ou de la consommation de carburant, en conduisant moins et en changeant de véhicule, par exemple en passant à une motorisation *diesel*.

Pour *Calvet et Marical (2011)*, ces résultats "attestent l'efficacité de politiques de prix visant à intégrer les externalités liées à la consommation de carburant". Toutefois, relèvent-ils, "cette étude ne permet pas d'analyser les conséquences sociales de telles politiques de prix et les moyens éventuels de les corriger". En effet, si la hausse des prix des carburants entraîne globalement une réduction aussi forte des kilométrages parcourus dans les zones périurbaines et rurales que dans les zones urbaines, on ignore toutefois comment ont procédé les plus vulnérables pour réduire leur mobilité, et en particulier s'ils n'ont pas été contraints de renoncer à des déplacements pourtant réputés incompressibles.

Observons également que, selon une étude du *Congressional Budget Office (2008)*, les hausses de prix des carburants tendent à réduire la conduite sur les autoroutes lorsque les ménages disposent d'alternatives de transport ferroviaire, mais ont peu d'impact en l'absence d'alternatives. En outre, cette étude a établi que l'augmentation de la fréquentation des systèmes de transport public correspondait approximativement au déclin du trafic automobile enregistré sur les autoroutes, suggérant des effets importants de report modal. Une autre étude portant sur la région de Philadelphie confirme ces résultats en montrant que les fluctuations des prix des carburants jouent un rôle significatif dans l'explication des variations de fréquentation du transport public au cours des années 2000 (*Maley et Weinberger, 2009*).

Les prix des carburants tendent donc, au moins à court terme, à interagir avec les effets de localisation pour l'évolution des niveaux de motorisation et d'usage de la voiture, mais également d'usage des transports collectifs. Ces résultats soulignent l'hétérogénéité des univers de choix individuels. Bien que la théorie économique enseigne que les ménages modestes soient plus sensibles aux fluctuations de prix que les ménages aisés, ce n'est pas nécessairement le cas dans la pratique, car les ménages modestes ou appartenant aux couches moyennes sont fréquemment contraints à vivre dans les zones périurbaines et rurales en raison du gradient des prix de l'immobilier. De ce fait, ils disposent de faibles marges de manœuvre pour réduire leur usage de la voiture, en dépit de budgets contraints.

Selon le niveau de vie

Les résultats concernant l'impact du revenu sur la sensibilité des ménages aux prix des carburants dans la littérature apparaissent dans l'ensemble plus contrastés et plus difficiles à interpréter. Cependant, dans les mêmes études, *Kemel et al. (2010)* et *Calvet et Marical (2011)* soulignent que les réactions ne sont pas seulement spatialement, mais aussi socialement différenciées. Quel que soit le revenu, la sensibilité à long terme est nettement plus importante qu'à court terme. Toutefois, les différences de sensibilité en fonction du revenu sont nettement moins prononcées à long terme qu'à court terme. Ainsi, *Calvet et Marical (2011)* trouvent qu'à court terme, le différentiel de sensibilité entre riches et pauvres est assez important, avec une élasticité-prix de $-0,36$ pour les plus pauvres, contre $-0,12$ pour les plus aisés. La différence de sensibilité à court terme entre riches et pauvres peut s'interpréter comme la nécessité d'une baisse relative plus forte de la consommation de carburant chez les plus pauvres pour maîtriser l'évolution de leur coefficient budgétaire, compte tenu d'un revenu plus faible. A l'inverse, il semble que les adaptations des ménages soient équivalentes à long terme, quel que soit leur niveau de revenu. Ainsi, la sensibilité des ménages modestes aux prix des carburants se situe entre $-0,7$ et $-0,8$ à long terme, alors qu'elle varie entre $-0,6$ et $-0,7$ pour les plus aisés.

Toutefois, là encore, on ignore comment ont procédé les plus modestes pour réduire leur consommation de carburant dans des proportions équivalentes à celles qu'on observe pour les plus riches, et quels sacrifices ont été consentis. Par ailleurs, si on raisonne non plus en termes relatifs mais en termes absolus, c'est parmi les ménages de cadres et de professions intermédiaires, que le kilométrage annuel par véhicule a le plus diminué, avec un recul de l'ordre de 1 400 km, ainsi que l'observe *Robin (2010)*, à partir des Enquêtes Nationales Transport. Cela peut sans doute s'expliquer par une plus grande capacité des ménages aisés à réduire leur niveau d'usage de la voiture, compte tenu à la fois de lieux de résidence plus souvent situés dans les zones denses, et d'une proportion supérieure de déplacements discrétionnaires.

En croisant l'impact du revenu et de la zone de résidence sur la sensibilité au prix du carburant, *Kemel et al. (2010)* montrent que chez les habitants des zones rurales, l'élasticité à court terme du kilométrage annuel parcouru au coût d'usage des carburants est plus élevée pour les ménages modestes ou appartenant aux classes moyennes, avec des élasticités respectives de $-0,20$ et $-0,23$, qui ne sont pas significativement différentes, contre $-0,14$ chez les plus riches. A l'inverse, parmi les ménages habitant les zones urbaines, les élasticités du kilométrage annuel parcouru au coût d'usage des carburants ne sont pas significativement différentes selon le revenu, variant entre $-0,26$ pour les plus pauvres et $-0,31$ pour les plus riches. Ces résultats peuvent s'interpréter en considérant qu'au sein des zones urbaines, l'ensemble des ménages disposent de possibilités de report vers les modes alternatifs, et ne sont donc pas contraints de réduire fortement leur mobilité totale. L'ensemble des ménages réagissent donc à l'augmentation du coût d'usage des véhicules de façon relativement homogène, en ayant davantage recours aux transports en commun, ce qui leur permet de maîtriser leur niveau d'effort budgétaire. A l'inverse, dans les zones de moindre densité, l'impact de l'augmentation des prix des carburants sur l'effort budgétaire à fournir par les ménages est plus élevé pour les ménages modestes et des classes moyennes, compte tenu de revenus plus faibles, et du manque d'alternatives à la voiture. Les ménages modestes seraient donc contraints de fournir un effort de réduction de l'usage de la voiture plus important que les ménages disposant de meilleurs revenus, pour maîtriser l'évolution de leur coefficient budgétaire.

II.1.c) La contribution des « jeunes adultes »

Plutôt que des effets de structure, certaines recherches et études mettent en avant la contribution de groupes sociaux particuliers à la baisse de l'usage de la voiture. Un grand nombre d'entre elles soulignent ainsi la contribution particulière des « jeunes adultes »²³ aux tendances actuelles, compte tenu d'une baisse de l'auto-mobilité dans ses différentes composantes - permis de conduire, accès à un véhicule personnel, usage des véhicules - plus importante au sein de ce groupe d'âge que pour l'ensemble de la population. On a fait de cette explication une section spécifique, plutôt que de l'intégrer directement dans la revue de la littérature présentée plus haut (cf. section II.1.a), pour les raisons suivantes :

- En premier lieu, l'abondance de la littérature consacrée à ce sujet, qui a suscité à lui seul, pratiquement autant d'articles que l'ensemble des autres explications avancées, qui ont été exposées précédemment dans la revue de la littérature sur le « *peak car* » ;
- D'autre part, la baisse de la mobilité des jeunes adultes ne constitue pas en elle-même, selon nous, une explication suffisante, car elle demande elle-même à être expliquée en identifiant ses causes. En outre, bien qu'on observe un recul plus prononcé du recours à la voiture chez les jeunes adultes, celui-ci ne leur est pas spécifique, et s'observe également dans les autres groupes de population, à l'exception des seniors. D'ailleurs, on retrouve dans cette section l'ensemble des explications avancées pour le « *peak car* » en général, qui sont à nouveau mentionnées comme facteurs de la baisse de l'usage de la voiture chez les jeunes adultes. Il importe toutefois de pouvoir identifier en quoi certains de ces facteurs joueraient un rôle plus important pour les jeunes adultes que pour d'autres groupes de population, ainsi que le suggère la littérature ;
- Enfin, certains facteurs – et certaines questions – sont spécifiques à la problématique des « jeunes adultes ». En particulier, on ignore si la forte baisse du recours à la voiture que l'on constate pour ce groupe de population résulte d'un délai général dans la réalisation des étapes du cycle de vie, dont les causes peuvent être multiples – allongement des études, accès tardif au premier emploi, situation économique instable - ou bien si elle résulte d'un désintérêt pour la voiture, autrement dit si l'auto-mobilité est différée ou abandonnée. En lien avec cette question, il importe de déterminer dans quelle mesure l'évolution des comportements est choisie ou subie²⁴, par exemple en raison d'un

²³ La notion de « jeunes adultes » n'est pas définie d'une manière univoque dans la littérature. Toutefois, dans la plupart des analyses, elle fait référence au groupe des 18-30 ans, correspondant à une période de transition dans les comportements de mobilité, pendant laquelle a lieu l'accès progressif au permis de conduire puis à un véhicule personnel, de concert avec les différentes étapes de l'entrée dans la vie adulte – accès au premier emploi, formation d'un couple, etc. Néanmoins, ces étapes, parfois considérées comme « traditionnelles », tendent à être remises en cause par l'accès de plus en plus tardif et (parfois) difficile et précaire au marché de l'emploi, ainsi qu'aux difficultés rencontrées par les nouvelles générations pour fonder une famille, en raison de modes de vie instables caractérisés par le nomadisme et la « peur de s'engager ».

²⁴ Par exemple, les jeunes adultes peuvent différer le moment de passer leur permis de conduire et de disposer d'un véhicule personnel, soit qu'ils n'en éprouvent pas le besoin, en raison d'un habitat et de styles de vie urbains, ou d'un emploi facilement accessible par les transports en commun, soit qu'ils ont une image négative de la voiture, en raison de la pollution générée par la circulation automobile et de l'impact de la circulation automobile sur le changement climatique. Dans ce cas, le renoncement à l'auto-mobilité, temporaire ou pérenne, relève d'un choix personnel. A l'inverse, ils peuvent, en dépit d'une situation de forte dépendance automobile, par exemple en l'absence d'alternatives performantes pour leurs déplacements vers le travail, renoncer à préparer les examens du permis de conduire, puis à acheter un véhicule personnel, en raison de coûts d'acquisition et d'usage trop élevés par rapport à leurs ressources, auquel cas la privation du permis de conduire et d'un véhicule personnel relève moins d'un choix que

durcissement des contraintes financières. Cette question est cruciale pour déterminer l'évolution future de la demande de transport et du trafic automobile, par exemple sur la base de modèles de type âge-cohorte. Dans la première hypothèse, en effet, le recul de l'auto-mobilité résulterait d'une modification de l'effet d'âge, dont les conséquences seront temporaires, tandis que dans la seconde, il serait plutôt issu d'un effet de génération, dont les conséquences seront durables.

Tout ou partie de ces arguments servent à justifier l'attention particulière qui est apportée à la question des jeunes adultes dans une grande partie de la littérature sur le « *peak car* », en particulier le fait que les jeunes adultes apportent la contribution la plus importante au déclin de l'usage de la voiture, et que les comportements des nouvelles générations auront nécessairement des répercussions majeures sur la demande de transport à long terme. Ces raisons sont mises en avant notamment par *Kuhnimof et al. (2013)*.

Un déclin plus important de l'auto-mobilité chez les « jeunes adultes »

Dans de nombreux pays, une baisse de l'auto-mobilité, et parfois de la mobilité totale des jeunes adultes, est observée au cours de la précédente décennie. Ainsi par exemple, *Kuhnimof et al. (2010, 2012)* montrent qu'en Allemagne et en Grande-Bretagne, l'utilisation de la voiture a cessé de croître chez les jeunes adultes - définis comme le groupe des 20-29 ans - depuis le milieu des années 1990, et que cette baisse s'accompagne d'une forte augmentation de l'usage du vélo et du transport public. Sur la base d'une comparaison internationale entre six pays - France, Allemagne, Grande-Bretagne, Japon, Norvège, Etats-Unis - ils montrent que l'évolution des comportements des jeunes adultes est cruciale pour expliquer le plafonnement de l'usage de la voiture dans au moins trois pays (Allemagne, Royaume-Uni et Norvège)²⁵. *Kuhnimof et al. (2012, 2013)* observent en outre que ce déclin est plus important chez les jeunes hommes que chez les jeunes femmes, une différence qui est susceptible d'être liée aux évolutions contraires des taux d'activité selon le genre.

Ils montrent que ce retournement de tendance, attesté tout à la fois par les enquêtes nationales transport, les statistiques d'immatriculation de véhicules et les taux de titulaires du permis, se traduit à la fois par :

- Une disponibilité décroissante de la voiture²⁶ ;

d'une contrainte extérieure. Bien entendu, il existe toute une gamme de situations intermédiaires, dans lesquelles la décision finale de disposer d'un véhicule personnel relève d'un arbitrage entre les préférences des individus, leurs besoins et les contraintes qu'ils subissent. Par exemple, l'empêchement financier est rarement absolu, mais dépend du consentement à payer des individus et de la priorité qu'ils accordent à leurs différents postes de dépenses. En revanche, certains empêchements présentent bien un caractère absolu ou quasi-absolu : par exemple, les personnes ne disposant pas du permis de conduire ne sont pas en mesure de conduire un véhicule (à moins de basculer dans l'illégalité).

²⁵ En revanche, cette conclusion ne s'applique pas à la France et au Japon. En France, le plafonnement de l'usage de la voiture résulte d'une compensation entre les distances parcourues par les conducteurs, qui déclinent, et le taux de motorisation, qui progresse. Au Japon, c'est surtout le vieillissement de la population qui semble jouer le rôle le plus important.

²⁶ La disponibilité d'une voiture étant définie comme le fait d'être individuellement titulaire du permis et de disposer d'une voiture au niveau du ménage.

- Un report vers les modes alternatifs, concernant aussi bien les déplacements quotidiens qu'à longue distance ;
- Des comportements plus multimodaux²⁷, en particulier chez les jeunes hommes (*Kuhnimof et al., 2012*), semblant indiquer que les attitudes de mobilité se rationalisent dans les nouvelles générations ;
- L'érosion des différences de genre en matière de mobilité, du fait à la fois que l'augmentation du taux d'activité des femmes contribue à différer les événements familiaux (âge de mise en ménage ou de naissance du premier enfant...) et à allonger la période pendant laquelle les différences liées au genre ne sont pas très prononcées, et que l'utilisation de la voiture baisse chez les jeunes hommes.

De même aux Pays-Bas, *Van den Waard et al. (2013)* étudient les causes de baisse de l'usage de la voiture, en s'appuyant sur les résultats des enquêtes nationales transport de 1995 à 2011, ainsi que sur des « *focus groups* » destinés à mieux comprendre les facteurs de l'évolution des comportements. Ils concluent à un rôle prépondérant des évolutions de comportements chez les jeunes dans le plafonnement de l'usage de la voiture. Ils observent que les jeunes adultes (18-30 ans) ont réduit leur mobilité en voiture dès avant 2003, et sont moins mobiles aujourd'hui qu'il y a quinze ans. Entre 1995 et 2009, le nombre moyen de déplacements par jour d'un jeune néerlandais a ainsi diminué de 3,5 à 2,8, et la distance quotidienne parcourue de 41 à 38 km. Ce déclin concerne aussi bien les zones urbaines que rurales. Comme en Allemagne, le recul de l'usage de la voiture est plus prononcé chez les jeunes hommes que chez les jeunes femmes. Ainsi, les jeunes hommes voyagent 16 % de moins en 2009 qu'en 1995, tandis que les femmes voyagent 6 % de plus. Toutefois, dans les zones urbaines, le recul de l'usage de la voiture est partiellement compensé par un report vers le vélo, les transports urbains et le train, contrairement aux zones rurales.

Aux Etats-Unis, *Davis et al. (2012)* pointent des tendances analogues chez les jeunes américains en tant que facteur explicatif du déclin de l'usage moyen de la voiture depuis 2004, constatant que ces derniers conduisent moins depuis le début du millénaire, et soutiennent que cette évolution a de fortes chances d'être durable, même en cas de retour à des conditions économiques plus favorables. De 2001 à 2009, le kilométrage annuel moyen parcouru en voiture par les jeunes américains âgés de seize à trente-quatre ans a ainsi reculé de 16 600 à 12 700 km par personne, soit une baisse de - 23 %, le nombre de déplacements par conducteur de - 15 % et la distance moyenne de déplacement de - 6 %. Cette évolution s'accompagne d'un report vers les autres modes, suggérant une certaine substituabilité des moyens de transport, sans doute facilitée par une vie plus urbaine que pour le reste de la population. Ainsi, *Baxandall et al. (2012)* trouvent que les jeunes américains ont augmenté leur recours aux modes alternatifs, incluant la marche, le vélo et le transport public. En 2009, la « *génération Y* » a ainsi effectué 24 % de déplacements en vélo et 16 % de déplacements à pied en plus, et a parcouru 40 % de kilomètres supplémentaires en transport public. Cependant, la substituabilité de la voiture par les transports en commun n'est que partielle et ne permet pas de compenser entièrement la réduction de l'usage de la voiture chez les jeunes américains, qui entraîne donc une perte nette de mobilité.

²⁷ C'est-à-dire que les individus utilisent alternativement différents moyens de transport, privilégiant l'un ou l'autre selon le contexte.

Le déclin de l'auto-mobilité chez les jeunes adultes ne résulte pas seulement d'une baisse de l'utilisation des véhicules, mais affecte également la diffusion de l'automobile, en commençant par l'accès au permis de conduire. Ainsi, *Delbosc et Currie (2013)* notent que le recul de la proportion de titulaires du permis de conduire chez les jeunes adultes a d'abord été reconnu en Suède et en Norvège, où cette proportion a décliné de plus de 10 points entre le milieu des années 1980 et la fin des années 1990 (*Berg, 2001 ; Ruud et Nordbakke, 2005*), puis en Grande-Bretagne vers le milieu des années 2000 (*Noble, 2005*). Plus récemment à partir de 2010, *Delbosc et Currie (2013)* montrent que la proportion de titulaires du permis de conduire parmi les jeunes adultes affiche un net recul en Australie, en Amérique du Nord, au Japon ainsi que dans une grande partie de l'Europe. Sur quatorze pays considérés dans cette étude, neuf d'entre eux affichent ainsi un recul du taux de permis de l'ordre de - 0,1 point à - 1 point par an, avec une moyenne de - 0,6 point par an sur l'ensemble des pays étudiés, le déclin le plus important étant observé en Australie. Ils montrent en outre que, même lorsqu'ils disposent du permis de conduire, ils conduisent moins que par le passé. Ces résultats rejoignent également les conclusions de *Kuhnimof et al. (2012)*, *Raimond et Milthorpe (2010)*, *Sivak et Schoettle (2012)*. Ainsi, *Sivak et Schoettle (2012)*, dans le cadre d'une étude comparative internationale portant sur une quinzaine de pays différents, observent que le taux de titulaires du permis de conduire chez les jeunes adultes a reculé dans la plupart d'entre eux entre 1983 et 2008²⁸.

De même aux Etats-Unis, *Davis et al. (2012)* montrent que la part des jeunes âgés de quatorze à trente-quatre ans ne disposant pas du permis de conduire a augmenté de 21 à 26 % au cours de la même période. De plus, *Chozick (2012)*, dans un article du *New York Times*, observe que seulement 46 % des jeunes américains de moins de dix-neuf ans avaient le permis de conduire en 2008, contre 64 % en 1998. Cette évolution semble avoir commencé plus tôt que dans les autres pays et ne concerne pas seulement les plus jeunes, puisque chaque cohorte âgée de moins de cinquante ans en 2010 présente un taux de titulaires du permis plus faible en 2010 qu'en 1983. *Sivak et Schoettle (2012)* montrent en outre qu'au sein de la génération âgée de vingt à quarante-quatre ans en 1983, le pourcentage de titulaires du permis de conduire n'a pas changé entre 1983 et 2010, de sorte qu'une part importante de cette génération est demeurée sans avoir le permis en vieillissant.

Le recul de l'accès au permis de conduire se répercute bien évidemment sur les taux de motorisation, qui reculent également chez les jeunes adultes. *ITF (2013)* observent ainsi qu'en Grande-Bretagne, une moitié de la réduction de l'usage de la voiture chez les jeunes adultes s'explique par une baisse de la disponibilité d'un véhicule, l'autre moitié provenant de la réduction des distances parcourues par les conducteurs. De même en Allemagne, *Kuhnimof et al. (2013)* notent que la motorisation des jeunes adultes tend à décliner. Cependant, l'ampleur du recul du taux de motorisation chez les jeunes adultes est variable d'un pays à l'autre²⁹.

²⁸ Certains pays, tels que les Pays-Bas, l'Espagne ou la Suisse, font cependant figure d'exception, en affichant une diffusion du permis de conduire en progrès chez les jeunes adultes.

²⁹ Les auteurs distinguent deux groupes de pays : d'un côté, des pays très densément urbanisés comme l'Allemagne et la Grande-Bretagne, dans lesquels la saturation de l'équipement automobile, s'accompagnant de report modal, contribue sans doute significativement aux tendances actuelles, compte tenu de moindres besoins de motorisation et d'une diffusion plus précoce de l'automobile dans les zones urbanisées ; de l'autre, des pays disposant de plus d'espace comme la France et les Etats-Unis, dans lesquels le plafonnement de la demande de transport semblerait surtout pouvoir s'expliquer par les circonstances économiques. Cette distinction n'implique pas, toutefois, que les pays plus denses soient épargnés par les facteurs économiques (récession, augmentation des prix des carburants...), mais plutôt qu'ils y sont amplifiés par une plus grande proximité de l'atteinte d'un seuil de saturation pour la diffusion de l'automobile, dans un contexte de moindre dépendance à l'égard de la voiture.

Les explications

Une revue extensive de la littérature permet d'explorer les différentes explications possibles de l'importance du recul de l'usage de la voiture chez les jeunes adultes. Celles-ci sont dans l'ensemble analogues aux explications du « *peak car* » pour l'ensemble de la population (cf. section II.1.a), mais les auteurs supposent généralement que les facteurs identifiés exercent une influence plus importante pour les jeunes adultes que pour le reste de la population. Toutefois, certaines explications sont également spécifiques aux jeunes adultes. C'est le cas, en particulier, du constat d'un décalage général des étapes du cycle de vie au sein des nouvelles générations - études plus longues, accès plus tardif au premier emploi, mise en couple plus tardive - ainsi que du renforcement du coût et de la difficulté des examens du permis de conduire dans un grand nombre de pays. On passe ici en revue ces différentes explications. D'une manière générale, l'identification des causes de la baisse de l'usage de la voiture chez les jeunes adultes semble moins claire que le constat que l'on peut en faire. Comme dans la section II.1.a, on a classé ces explications des plus convaincantes aux plus douteuses. Comme dans le cas général, les auteurs s'accordent généralement à considérer que l'inflexion des comportements de mobilité résulte d'une multitude de causes plutôt que d'une seule (Delbosc et Currie, 2013).

Le décalage des étapes du cycle de vie

Plusieurs auteurs observent un décalage dans la temporalité du cycle de vie - allongement des études, entrée sur le marché du travail plus tardive, fondation d'un foyer retardée - ces étapes devenant également plus précaires, ce qui conduit à différer dans le temps la nécessité d'apprendre à conduire et d'utiliser un véhicule pour un grand nombre de jeunes. Le besoin d'utilisation de la voiture est en effet lié en grande partie à l'intensité des contraintes familiales et professionnelles (Grimal, 2013). Aussi bien pour Metz (2013) que pour Delbosc et Currie (2013), le décalage des étapes du cycle de vie est le facteur le plus important de réduction de l'usage de la voiture dans les nouvelles générations en début de cycle de vie.

Delbosc et Currie (2013) et Noble (2005) montrent que si un jeune est étudiant ou travaille à temps partiel, il aura ainsi moins souvent le permis de conduire que s'il travaille à temps plein. Par exemple, au Royaume-Uni en 2005, 58 % des jeunes adultes travaillant à temps plein avaient le permis de conduire, contre 38 % des jeunes travaillant à temps partiel et 32 % des étudiants. Kuhnimof et al. (2010), Kuhnimof et al. (2012), Kuhnimof et al. (2013), Kalinowska et al. (2012) soulignent également, parmi les facteurs déterminants du recul de l'usage de la voiture chez les jeunes adultes, l'allongement des études supérieures qui, en différant la participation au marché du travail, souvent génératrice de mobilité additionnelle liée aux déplacements professionnels, et en favorisant la concentration croissante des jeunes dans les grandes agglomérations urbaines - correspondant le plus souvent aux grands centres universitaires - diffèrent la nécessité de la possession et de l'usage de la voiture. Par ailleurs, les auteurs observent que dans un contexte identique au niveau des formes urbaines et de l'offre de transport, les personnes plus diplômées tendraient à avoir un comportement plus multimodal (Kuhnimof et al., 2006). En outre, les jeunes adultes ayant fondé un foyer avec des enfants en bas âge ont davantage de chances d'avoir le permis de conduire (Delbosc et Currie, 2013). Cependant, des jeunes adultes demeurant au foyer parental sont susceptibles d'avoir accès aux véhicules de leurs parents et l'économie d'un loyer peut libérer des revenus pour les coûts d'usage de la voiture (Licaj et al., 2012).

Or, l'entrée des jeunes adultes sur le marché du travail est globalement plus tardive que par le passé. Par exemple, en Australie, *Delbosc and Currie (2013)* observent que le pourcentage d'étudiants parmi les jeunes âgés de vingt à vingt-quatre ans a progressé de 25 à 41 % entre 1991 et 2011 (*Australian Bureau of Statistics, 2011b*), tandis que la proportion d'actifs occupés à temps plein reculait de 50 % à 33 % entre 1985 et 2011. De même aux Etats-Unis, le pourcentage de jeunes adultes effectuant des études supérieures a augmenté de 31 à 45 % entre 1990 et 2011 (*Taylor et al., 2012*), alors que dans le même temps, la proportion d'actifs occupés parmi les jeunes adultes a reculé de 67 à 49 % (*Bureau of Labor Statistics, 2011*).

De la même façon, les jeunes adultes se marient et ont des enfants plus tard. Par exemple, l'âge médian du premier mariage en Australie a augmenté de plus de trois ans depuis 1990 (*Mitchell, 2006*) et les jeunes australiens ont moins de chances de vivre avec un partenaire que dans les années 1980 (*Australian Bureau of Statistics, 2009*). Cette situation entraîne une prolongation de la période pendant laquelle les jeunes adultes demeurent au foyer parental en Australie, en Amérique du Nord et en Europe (*Cobb-Clark, 2008 ; Mitchell, 2006 ; Settersten & Ray, 2010*). *Metz (2013)* relève également qu'en Angleterre, l'âge moyen de la maternité a augmenté de 25,5 ans en 1990 à 28 ans en 2011, et que la moitié des enfants naissent à présent de mères âgées de plus de 30 ans.

Des tendances analogues sont observables dans les autres pays d'Europe occidentale, cohérentes avec l'idée d'une période prolongée de carrière et de développement personnel avant l'installation. *Billari et Liefbroer (2010)* ont suggéré qu'un nouveau modèle européen de transition vers l'âge adulte émergeait, qui pouvait être caractérisé comme « tardif, prolongé et complexe ». La plupart des événements y sont différés, à l'exception du départ du foyer parental, notamment en raison du développement des foyers étudiants et des résidences universitaires. Le mariage et la naissance d'enfants étant également différés et plus incertains, les migrations résidentielles vers les périphéries et des styles de vie dépendants de l'automobile surviennent plus tard, et présentent un caractère moins systématique.

Le renforcement des contraintes financières, en lien avec l'augmentation du coût et de la difficulté des examens du permis de conduire

Kuhnimof et al. (2010), Kuhnimof et al. (2012), Kuhnimof et al. (2013), Kalinowska et al. (2012) observent que des facteurs économiques sont également susceptibles d'avoir contribué à la réduction de l'usage de la voiture chez les jeunes adultes : diminution des ressources financières³⁰, montée du chômage, accentuant chez les jeunes adultes l'effet de l'augmentation des prix des carburants et de la récession économique en comparaison des autres groupes de population.

Aux Pays-Bas, *Van den Waard et al. (2013)* relèvent chez les jeunes une baisse des déplacements vers le travail qui s'explique par une diminution de leur taux d'emploi. Or, les personnes au chômage ou sous-employées ont davantage de difficultés à acheter une voiture, et l'utilisent moins pour se rendre sur leur lieu de travail et pour leurs loisirs. La baisse du nombre d'actifs occupés est concentrée entre 2002 et 2009, illustrant l'impact de la crise économique, en même temps que l'augmentation de la proportion de jeunes effectuant des études supérieures. Plus généralement, de nombreux pays ont connu une baisse de l'emploi des jeunes. Aux Etats-Unis, la récession touche durement les jeunes américains, et pourrait représenter un facteur majeur de la

³⁰ Les auteurs soulignent néanmoins que ces dernières sont difficiles à évaluer en raison de l'importance des transferts financiers et des aides en nature en provenance de la famille.

réduction du taux de permis de conduire chez les jeunes adultes (*Berg, 2001 ; Davis et al., 2012*). En effet, les facteurs financiers jouent sans doute un rôle déterminant dès le stade préliminaire de l'acquisition du permis de conduire, comme le relèvent par exemple *Delbosc et Currie (2013)* ou encore *Licaj et al. (2012)*.

En France, *Avrillier et al. (2010)* montrent que la disparition du service militaire obligatoire en 1997 est une des causes de la baisse du taux de titulaires du permis chez les jeunes adultes, dans la mesure où il permettait jadis aux jeunes hommes de préparer gratuitement les examens du permis de conduire. Cette évolution contribue également à l'érosion de l'écart entre hommes et femmes, le déclin de la proportion de titulaires du permis de conduire étant plus prononcé chez les jeunes hommes, particulièrement dans les zones urbaines. Elle entraîne enfin un report de la demande de formation vers les auto-écoles et donc une augmentation du coût financier moyen de la préparation aux examens du permis de conduire, ce qui pourrait avoir induit une plus grande sélectivité sociale dans l'accès au permis de conduire chez les jeunes hommes.

L'importance des facteurs financiers se retrouve dans les réponses des jeunes adultes aux enquêtes qui visent à détecter les principaux facteurs du recul de l'accès au permis de conduire chez les jeunes adultes (*Berg, 2001 ; Noble, 2005 ; Williams, 2011*). Par exemple, 30 % des américains de dix-huit ans et plus n'ayant pas encore commencé à préparer le permis déclarent comme motif principal de cette décision le coût trop élevé de la préparation aux examens (*Williams, 2011*). Au Royaume-Uni, les facteurs financiers au sens large, incluant les coûts d'apprentissage de la conduite, d'assurances, d'acquisition et d'usage des véhicules, apparaissent même comme le premier motif de renoncement à la conduite, comme le fait ressortir une enquête du Ministère des Transports britannique (*DfT*) menée auprès des jeunes adultes, mentionnée par *Noble (2005)*. Les coûts de motorisation, par exemple, ont augmenté d'environ 25 % au Royaume-Uni entre 1993 et 2003, et les assurances et taxes automobiles ont également connu de fortes augmentations.

Toutefois, l'influence des changements économiques n'est pas toujours aussi claire ou cohérente. En effet, bien que certains coûts de motorisation aient augmenté, tels que les contrats d'assurance pour les jeunes conducteurs au Royaume-Uni, ou encore les prix du carburant, d'autres coûts de motorisation tels que les coûts d'achat des véhicules diminuent (*Delbosc et Currie, 2013*), de sorte que le coût total de motorisation a décru en termes réels (*Noble, 2005*). D'autre part, *Delbosc et Currie (2013)* relèvent un certain nombre d'indices suggérant qu'il n'est pas certain que les chocs financiers de court terme aient une influence aussi déterminante. Par exemple en Suède, la proportion de titulaires du permis chez les jeunes adultes a commencé de chuter dès les années 1990, donc bien avant la récession (*Berg, 2001*). De même, aussi bien aux Etats-Unis qu'en Australie, l'utilisation de la voiture chez les jeunes adultes a commencé à décliner plusieurs années avant la crise financière (*Davis et al., 2012*). En outre, si les difficultés financières contribuent sans doute à accentuer le recul de l'auto-mobilité chez les jeunes adultes, celui-ci est néanmoins observé même parmi les jeunes actifs occupés ou disposant de revenus élevés, qui tendent à recourir moins souvent à la voiture et plus souvent au transport public qu'il y a une décennie, comme on l'observe par exemple aux Etats-Unis (*Davis et al., 2012*) ou encore au Royaume-Uni (*Stokes, 2012*).

En outre, ainsi que le soulignent *Delbosc et Currie (2013)*, l'évaluation des capacités financières des jeunes adultes est un sujet complexe, dans la mesure où ces derniers sont susceptibles de bénéficier de transferts financiers en provenance des parents dans le cas de jeunes ayant décohabité, ou même de l'accès direct à certaines ressources en provenance des parents telles que

l'hébergement gratuit et l'utilisation des véhicules des parents. Il est toutefois probable que le décalage global de l'entrée sur le marché du travail, associé à la précarisation de l'emploi en début de parcours professionnel, aient dans l'ensemble réduit le revenu disponible des jeunes, et que d'autres postes budgétaires, tels que le logement, pèsent de plus en plus lourdement sur leurs capacités budgétaires, les contraignant à certains arbitrages qui pourraient s'exercer en défaveur de la mobilité. Ainsi, d'après l'Enquête australienne sur les budgets des ménages, les jeunes adultes dépensent une proportion significativement plus importante de leur revenu pour le logement qu'il y a une décennie, tandis que le coefficient budgétaire des transports a diminué (*Australian Bureau of Statistics, 2011a*).

En dehors du coût des examens du permis de conduire, le renforcement de leur difficulté pourrait également jouer un rôle dans la tendance actuelle des jeunes à différer le moment d'apprendre à conduire, notamment du fait d'examens renforcés et gradués qui ont été introduits dans de nombreuses nations développées et dont l'objectif affiché est la lutte contre l'insécurité routière et plus particulièrement la baisse de la mortalité routière particulièrement élevée qui est constatée chez les jeunes adultes (*Preusser et Tison, 2007*). Ces examens comportent des exigences accrues et débouchent sur un statut provisoire, précédant l'attribution définitive du permis de conduire. En particulier, ils imposent désormais de plus en plus souvent une augmentation de l'âge minimum légal, des leçons de conduite obligatoires, des examens théoriques et pratiques renforcés et plus rigoureux, un nombre minimal d'heures de conduite supervisées, un durcissement des seuils d'alcoolémie (*Preusser et Tison, 2007 ; Senserrick, 2009*). Au Royaume-Uni par exemple, les examens du permis de conduire sont devenus significativement plus difficiles en 2003 (*Noble, 2005*). Aux Etats-Unis, *Puentes (2013)* mentionne également l'introduction d'examens renforcés à partir de 1996 dans différents Etats, de sorte que vers la fin des années 2000, presque tous les Etats américains avaient des examens plaçant des restrictions sur la conduite non-accompagnée (*Masten et al., 2011*).

Ces exigences accrues peuvent constituer une entrave à l'accès au permis de conduire pour un certain nombre de jeunes. *Raimond et Milthorpe (2010)* ont montré qu'un nombre croissant de jeunes ne parviennent pas à convertir un permis temporaire en un permis définitif. L'exigence d'un nombre minimum d'heures de conduite supervisées - 20 à 60 heures aux Etats-Unis et jusqu'à 120 heures dans certains états australiens - peut être particulièrement dissuasive pour les jeunes dont les parents ne disposent pas de voiture. La possession de véhicules par leurs parents apparaît ainsi comme l'un des principaux facteurs explicatifs de la propension des jeunes à passer le permis de conduire (*Delbosc et Currie, 2013 ; Licaj et al., 2012*).

Toutefois, si l'introduction d'examens renforcés dans plusieurs pays a pu contribuer à amplifier le recul de l'accès au permis de conduire dans les nouvelles générations, il ne semble pas en être le facteur principal, dans la mesure où ce recul avait souvent précédé la mise en œuvre de ces mesures (*Noble, 2005 ; Raimond et Milthorpe, 2010 ; Delbosc et Currie, 2013*). Selon *Delbosc et Currie (2013)*, il semblerait que le durcissement des examens du permis de conduire ne soit pas suffisant pour dissuader les jeunes adultes qui en ont vraiment besoin mais justifie en revanche de différer la préparation aux examens en l'absence de nécessité véritable.

En dépit de leurs répercussions bénéfiques en matière de sécurité routière, ces politiques sont susceptibles d'avoir généré des effets pervers en décourageant une partie des jeunes de passer le permis de conduire, ainsi qu'en contribuant au développement de la conduite sans permis, comme cela semble être le cas en Grande-Bretagne. Ainsi, *Noble (2005)* suggère, à partir d'un recoupement de plusieurs sources que la conduite sans permis aurait fortement augmenté chez

les jeunes hommes en Grande-Bretagne. De même en France, *Nguyen (2013)* estime, à partir de l'ENTD, que 1,6 % des déplacements en voiture comme conducteur sont effectués par des personnes ne disposant pas du permis de conduire. Toutefois, on ignore dans quelle mesure ces déplacements correspondent réellement à des pratiques de conduite illégale ou bien à de la conduite accompagnée, hypothèse privilégiée par l'auteur. Une évaluation plus précise de l'ampleur du phénomène de la conduite sans permis revêt une importance particulière, compte tenu des enjeux associés en matière de sécurité routière.

Des évolutions dans l'offre de transport et les lieux de résidence des jeunes adultes

Ainsi que nous l'avons déjà relevé, les zones accessibles, centrales, bien pourvues en offre de transports collectifs ainsi qu'en aménagements piétons et cyclables sécurisés, caractérisées également par une plus forte densité d'activités et de services impliquant de moindres distances à parcourir, sont moins dépendantes de l'automobile. Ainsi, les jeunes adultes résidant dans les zones densément urbanisées tendent à avoir moins souvent le permis que ceux qui vivent dans les zones périurbaines et rurales (*Licaj et al., 2012 ; Noble, 2005 ; Raimond et Milthorpe, 2010*). Plusieurs enquêtes révèlent d'ailleurs que la possibilité d'assurer leurs besoins de déplacements sans conduire est une raison fréquemment avancée par les jeunes pour ne pas avoir le permis (*Berg, 2001 ; Noble, 2005 ; Williams, 2011*). Ainsi, l'enquête du *DfT* auprès des jeunes adultes britanniques citée par *Noble (2005)* suggère que si les facteurs financiers peuvent être un motif pour différer l'apprentissage de la conduite chez les plus jeunes, à plus long terme, seules les personnes moins intéressées par la conduite ou disposant d'alternatives tendront à maintenir cette décision³¹. Toutefois, la direction de causalité n'est pas toujours aussi claire, en raison d'une possible auto-sélection résidentielle des personnes ne disposant pas du permis³².

De ce fait, des évolutions dans la distribution spatiale des jeunes adultes, ainsi qu'au niveau de leurs possibilités d'accès aux moyens de transport alternatifs à la voiture, sont susceptibles d'avoir contribué à modifier leurs pratiques de mobilité. Or, plusieurs chercheurs pointent une tendance à la concentration croissante des jeunes adultes dans les zones denses des plus grandes métropoles. Aux Etats-Unis et en Australie par exemple, les jeunes adultes, particulièrement ceux qui sont sans enfants, tendent à privilégier les nouveaux développements résidentiels dans les zones accessibles, centrales et caractérisées par la mixité des transports (*Davis et al., 2012 ; Lachman et Brett, 2011*). De même aux Pays-Bas, *Van den Waard et al. (2013)* pointent l'augmentation de la proportion de jeunes résidant au sein des zones densément urbanisées entre 1995 et 2009, où sont situés les principaux établissements universitaires ainsi que les principales opportunités d'emploi.

Par ailleurs, la tarification des transports pour les jeunes adultes est également susceptible d'avoir contribué au recul de l'auto-mobilité dans ce groupe de population. Ainsi par exemple, au Royaume-Uni, la diffusion de *pass* étudiants pour les transports publics à partir de 1991 explique dans une large mesure le recours accru aux transports en commun par les jeunes adultes (*Noble, 2005*). En Allemagne, *Kuhnimof et al. (2010), Kuhnimof et al. (2012), Kuhnimof et al. (2013), Kalinowska et al. (2012)* soulignent l'amélioration de l'offre de transports publics dans les grandes

³¹ Ce résultat est intéressant du point de vue des politiques publiques, dans la mesure où il indique que l'évolution des préférences et des styles de vie, d'une part, la fourniture d'une offre de transport alternative suffisante, d'autre part, peuvent contribuer à modifier durablement les choix individuels en matière de mobilité.

³² C'est-à-dire qu'à l'inverse, les personnes ne disposant pas du permis choisiront d'habiter prioritairement dans les zones où elles ne seront pas dépendantes de l'automobile. De même, les ménages sans voiture tendront à privilégier les communes desservies par le train (*Madre, 1989*).

agglomérations ainsi que la mise en place de tarifs forfaitaires attractifs pour les étudiants, la proportion d'étudiants disposant d'un forfait annuel pour les transports en commun ayant progressé de 25 à 52 % entre 1996 et 2008. De même aux Pays-Bas, *Van den Waard et al. (2013)* soulignent que le transport public est très bon marché pour les étudiants, qui représentent un tiers de sa clientèle.

Des évolutions dans les attitudes, les opinions et les préférences

Certains auteurs suggèrent que l'évolution des mentalités dans les nouvelles générations pourrait également contribuer à expliquer les tendances actuelles. Cette rubrique est toutefois large et recouvre différents types de représentations mentales, plus ou moins conscientes. Parmi elles, on peut distinguer essentiellement trois sous-ensembles :

- La dimension symbolique du permis de conduire, en tant que moyen de transition vers l'âge adulte, et de la voiture, en tant qu'icône de statut social. Les images qui prévalaient dans les générations passées pourraient ne plus prévaloir dans les nouvelles générations, soit parce que, comme le suggèrent certains auteurs - plutôt dans la sphère du *marketing* que de la recherche - le désir se serait déplacé vers de nouveaux objets d'investissement symbolique – l'exemple récurrent étant constitué par les *smartphones* – soit parce que le maintien prolongé des jeunes en dehors des responsabilités de l'âge adulte, en relation avec l'allongement de la durée des études, différerait le moment de cet investissement symbolique, ou encore parce que les contraintes financières contraindraient les jeunes à adopter une attitude plus rationnelle à l'égard de la voiture et de la mobilité en général ;
- La question de la sensibilité environnementale. Les jeunes, plus sensibilisés aux externalités (changement climatique, pollution, consommation d'énergie...) de la voiture, tendraient à en réduire l'usage ;
- L'évolution des styles de vie. La voiture ne serait plus en phase avec les nouvelles aspirations en termes de modes de vie, avec une préférence accordée à des styles de vie urbains dans les nouvelles générations.

La voiture a longtemps été vue comme un symbole de liberté, d'indépendance et de statut social (*Steg, 2005 ; Hallet et Stokes, 1990*), et les jeunes adultes ayant ce genre de vues sont plus susceptibles de passer le permis de conduire que les autres (*Berg, 2001*). Cependant, il semble que l'image de statut social associée à la voiture soit en train de décliner au sein des nouvelles générations. *Noble (2005)* suggère ainsi que si dans le passé, avoir son permis était souvent vu comme un rite initiatique de passage à l'âge adulte, à présent la voiture est devenue moins attractive car davantage associée aux contraintes de la vie quotidienne. En revanche, les enquêtes à base de *focus groups* en Australie suggèrent que si la voiture tend à perdre sa dimension de symbole social, elle demeure un symbole de responsabilité adulte (*Delbosc et Currie, 2012*). En outre, elle tend désormais surtout à être considérée comme une nécessité de la vie quotidienne. L'évolution la plus notable semble donc être une tendance à la rationalisation des attitudes des nouvelles générations à l'égard de la voiture.

L'attrait symbolique de la voiture pourrait aussi avoir été modifié par la montée en puissance des technologies de l'information. Ainsi, la voiture ne se situerait plus au centre de la « *culture jeune* », en tant que symbole de liberté, d'indépendance et de « *fun* », les jeunes étant désormais plus intéressés par *Twitter*, *Facebook* et les *smartphones*, et que celle-ci a changé si profondément que « l'histoire d'amour » entre les jeunes Américains et la voiture serait terminée (*Ashley Halsey,*

2012). Selon une étude américaine, deux-tiers des jeunes adultes affirmaient préférer avoir une connexion Internet à un véhicule (Cisco, 2011). De plus, parmi les trente-et-une marques préférées des jeunes américains, n'apparaît plus aucune compagnie automobile. De même, une enquête au Japon a ainsi montré que seulement 23 % des personnes âgées de dix-huit à vingt-quatre ans listaient les voitures en tant que sujet d'intérêt, celle-ci arrivant seulement en dix-septième position, loin derrière les ordinateurs, les dessins animés, les jeux vidéo et la télévision. Aux Pays-Bas, Van den Waard et al. (2013) observent que les jeunes adultes, souvent désignés comme la « *génération Y* », ont grandi dans l'ère des nouvelles technologies, tout comme leurs parents avaient grandi dans l'ère de l'automobile. De ce fait, ils tendent à être perpétuellement connectés, et les ordinateurs, les téléphones mobiles et les *smartphones* leur sont indispensables (Veldkamp, 2012).

Cependant, certains signaux pointent en sens contraire : aux Pays-Bas, Van den Waard et al. (2013) montrent que le statut de l'automobile demeure élevé chez les jeunes adultes, et ne relèvent pas de preuves d'un déplacement des préférences des jeunes néerlandais vers les *smartphones* ou les tablettes tactiles. Ces derniers considèrent fréquemment que la possession d'un véhicule leur donne du prestige et celle-ci demeure une aspiration forte (Steg, 2005 ; Van den Waard et al., 2013). Cela est toutefois davantage vrai pour les personnes faiblement diplômées que pour les personnes ayant un niveau élevé de diplôme (Veldkamp, 2012).

Les enquêtes cherchant à détecter d'éventuelles inflexions dans les attitudes des jeunes adultes à l'égard de l'environnement ne permettent pas véritablement de dégager de tendance claire. Selon les résultats d'une enquête en ligne auprès de trois-cents jeunes adultes réalisée par la compagnie d'autopartage *Zipcar*, presque la moitié d'entre eux mettait en avant des préoccupations environnementales pour expliquer la réduction de la conduite. Ainsi, 45 % des jeunes âgés de dix-huit à trente-quatre ans affirment avoir consciemment fait des efforts pour remplacer la conduite par des alternatives, contre 32 % de la population globale. Une enquête longitudinale en Suède montre de plus une légère augmentation du nombre de jeunes adultes citant des raisons environnementales pour ne pas passer le permis de conduire. Kalinowska et al. (2012) suggèrent donc que les nouveaux choix de mobilité des jeunes adultes pourraient exprimer un plus grand souci de l'environnement que les générations passées.

Toutefois, d'autres recherches émettent des doutes quant à la réalité de ces tendances, et s'interrogent sur l'impact réel d'une évolution des attitudes sur les comportements effectifs. Une enquête auprès d'un large échantillon de jeunes adultes au Royaume-Uni montre que ces derniers seraient moins enclins que tous les autres à recycler, à économiser l'eau et l'énergie, ainsi qu'à réduire l'usage de la voiture afin de protéger l'environnement (Department for Environmental Food and Rural affairs, 2002). Noble (2005) montre également, à partir d'une enquête auprès des non-utilisateurs de la voiture en Ecosse, que les questions d'environnement ne jouent quasiment aucun rôle dans ces décisions. De même, selon une étude qualitative en Australie à base de *focus groups*, les questions environnementales ne semblent pas arriver en tête de leurs préoccupations, et beaucoup d'entre eux considèrent que l'impact de leur mobilité sur l'environnement est faible (Delbosc et Currie, 2012).

En ce qui concerne l'évolution des styles de vie, Puentes (2013) estime que les politiques actuelles de transport ne correspondraient plus aux besoins de déplacements des américains : ainsi, une grande partie de la jeunesse américaine déclare préférer vivre dans des lieux permettant de faire du vélo et d'utiliser les transports publics, une urbanisation dense permettant d'accéder

facilement à des commerces de proximité, à des restaurants et à des écoles, plutôt que dans un territoire caractérisé par l'étalement urbain et la dispersion des activités.

Dans l'ensemble, les preuves d'un changement des attitudes des jeunes semblent faibles. De plus, ainsi que nous l'avons déjà relevé, il n'existe pas forcément de lien évident entre les attitudes et les opinions, d'une part, et les comportements effectifs, d'autre part, qui demeurent structurés par les contraintes de la vie quotidienne, même si des changements dans les opinions et les attitudes représentent une fenêtre d'opportunité susceptible de faciliter la mise en œuvre de politiques destinées à susciter des évolutions dans les pratiques de déplacements. La tendance la plus évidente semble être une rationalisation des attitudes à l'égard de la voiture, qui serait désormais surtout considérée sous un angle utilitaire, ce qui pourrait contribuer à expliquer pourquoi les jeunes tendent à différer le moment d'apprendre à conduire, n'en éprouvant plus le besoin en début de cycle de vie. La question du maintien de ces comportements à un âge plus avancé est différente, dans la mesure où le besoin s'en fait davantage ressentir avec l'évolution des contraintes de la vie quotidienne.

Le rôle des communications électroniques

Le déploiement des moyens de communications électroniques et des terminaux mobiles est fréquemment invoqué pour expliquer l'évolution des comportements de mobilité, parfois en lien avec les attitudes des jeunes adultes, ainsi que nous venons de le voir. En effet, bien que la diffusion des nouvelles technologies soit très rapide et assez générale, l'engouement des nouvelles générations pour ces technologies semble particulièrement prononcé. Ainsi, les jeunes britanniques et les jeunes allemands consacrent une part croissante de leur budget et de leur temps aux ordinateurs, aux téléphones mobiles et à l'Internet. De même en Australie, ils consacrent une proportion de leurs revenus à la téléphonie mobile, à l'informatique et à l'Internet nettement supérieure à celle qui est observée pour les autres groupes d'âge (*Australian Bureau of Statistics, 2011a*).

Un argument connexe est que, les nouvelles générations étant « perpétuellement connectées » - réseaux sociaux, Internet – l'attractivité des modes de transport collectifs et de la marche s'en trouve renforcée, puisque ces modes, contrairement à la voiture³³, permettent aux jeunes adultes de maintenir une connexion, en continuant à émettre et à recevoir des appels téléphoniques, des *e-mails*, des *textos* ou en mettant à jour leur statut sur les réseaux sociaux (*Davis et al., 2012*). En outre, le transport public facilite le voyage en fournissant de l'information en temps réel sur la circulation et le réseau *via* les sites Internet et les applications mobiles, comme le relève une étude de *Zipcar* : sites *web* et applications pour *smartphones* fournissant des données en temps réel sur les transports publics, services de cyclo- et d'autopartage consultables en ligne qui se sont développés dans de nombreuses villes américaines.

Cependant, ce sujet demeure encore largement spéculatif en raison du manque de preuves empiriques et de compréhension claire de la relation entre télécommunications et mobilité, une question qui n'est d'ailleurs pas absolument nouvelle puisqu'elle se posait déjà à propos du

³³ Notamment en raison des exigences de sécurité routière, qui conduisent à limiter l'usage des téléphones portables et autres terminaux mobiles, qui mettent potentiellement les conducteurs en danger en détournant leur attention de la route – même si des recherches technologiques sont actuellement menées en vue du déploiement de la « voiture autonome et connectée ».

téléphone (cf. section II.1.a). En particulier, la relation est peu claire entre le constat que l'on peut faire d'une augmentation du temps et du budget consacré aux communications électroniques, et l'impact de cette tendance sur la mobilité. Ainsi par exemple, *Van den Waard et al. (2013)* relèvent l'absence de preuves significatives d'une contribution de l'accès à Internet à la baisse de la mobilité aux Pays-Bas. Une grande partie des spéculations médiatiques sur les causes du déclin de l'accès au permis de conduire chez les jeunes adultes se basent sur l'hypothèse implicite selon laquelle les communications électroniques réduiraient le besoin de mobilité. Ainsi, selon *Chozick (2012)*, par exemple, « *aujourd'hui, Facebook, Twitter et les textos permettent aux jeunes de se connecter sans roues* ». Parfois, certaines études tendent à corroborer cette hypothèse. Ainsi, selon une étude de *Zipcar*, 50 % des jeunes américains disent quelquefois passer du temps avec leurs amis en ligne plutôt qu'en face-à-face, et jusqu'à 10 % des « *teenagers* » américains disent ne pas avoir de permis de conduire parce que les communications électroniques leur permettent de rester en contact avec leurs amis³⁴ (*Williams, 2011*). Enfin, une analyse de *Sivak et Schoettle (2012)* montre une corrélation entre la pénétration d'Internet et le taux de permis chez les jeunes adultes dans une quinzaine de pays.

Cependant, d'autres recherches jettent des doutes sur ces conclusions. Certains chercheurs questionnent la validité de l'analyse utilisée pour établir une relation entre le taux de pénétration de l'Internet au niveau national et le taux de permis de conduire chez les jeunes adultes (*Le Vine et al., 2013 ; Sivak et Schoettle, 2012*). La recherche à base de *focus groups* en Australie suggère que les communications électroniques constituent un complément plutôt qu'un substitut aux relations en face-à-face chez les jeunes adultes (*Delbosc et Currie, 2012*). Une analyse des réseaux sociaux aux Pays-Bas montre que plus des personnes établissent de contacts téléphoniques ou électroniques, plus ils sont susceptibles d'entretenir également des contacts physiques (*Van den Berg et al., 2009*).

Déclin de l'auto-mobilité ou auto-mobilité différée ?

Même si on en sait davantage sur les causes du déclin de l'auto-mobilité chez les jeunes adultes, de nombreuses questions importantes demeurent irrésolues. Par exemple, on ignore encore si une partie des nouvelles générations renoncent définitivement à passer le permis, ou bien tendent plutôt à en différer l'acquisition jusqu'au moment où ils en éprouveront suffisamment le besoin (*ITF, 2013 ; Delbosc et Currie, 2013*). La question du caractère temporaire ou pérenne du recul de l'auto-mobilité dans les nouvelles générations est évidemment cruciale pour l'évolution future de la demande de transport et de la mobilité, puisque ces dernières deviendront à terme majoritaires au sein de la population globale. Cependant, même en cas d'un simple délai dans l'accès au permis de conduire, celui-ci est susceptible d'avoir des répercussions majeures sur l'évolution des comportements. Ainsi, *Stokes (2012)* montre, à partir des enquêtes nationales transport britanniques, que les personnes qui passent le permis plus tardivement conduisent moins que les autres. Par exemple, les personnes âgées de trente à trente-neuf ans lors de l'enquête de 2002, parcouraient en moyenne 10 000 miles par an si elles avaient appris à conduire vers l'âge de dix-sept ans, et 6 500 miles par an si elles avaient appris à conduire vers l'âge de trente ans³⁵.

³⁴ Bien qu'aucun d'entre eux ne cite ce motif comme la raison principale pour ne pas passer le permis de conduire.

³⁵ Cependant, les raisons de cette relation ne sont pas claires : les explications potentielles pourraient inclure une moindre confiance lorsque les personnes apprennent à conduire plus tard, ou bien plus vraisemblablement une auto-sélection des futurs « gros rouleurs », parmi ceux qui choisissent d'apprendre à conduire plus tôt.

L'ensemble des études disponibles sur ce sujet ne permettent pas à l'heure actuelle de dégager de conclusions claires et valables pour tous les pays. Certaines recherches soulignent ainsi que les habitudes acquises par les nouvelles générations pendant leur jeune âge seront déterminantes pour l'évolution future de la mobilité (*Lyons et Swinbank, 1998*). Les résultats de plusieurs recherches au Royaume-Uni (*Noble, 2005; Stokes, 2012; Delbosc et Currie, 2013*) suggèrent d'ailleurs que certains choisissent par la suite de ne jamais passer le permis de conduire, même à un âge plus avancé. *Stokes (2012)* note ainsi qu'en Grande-Bretagne, ce qui est d'abord apparu comme une tendance des jeunes hommes à différer l'apprentissage de la conduite est ensuite apparu comme un repli durable de l'accès au permis de conduire au sein des nouvelles générations. Ce résultat est également confirmé par une analyse en Nouvelle-Galles du Sud, suggérant que si un jeune ne passe pas le permis de conduire avant ses vingt ans, il ne le passera probablement jamais (*Raimond et Milthorpe, 2010*). *Noble (2005), Raimond et Milthorpe (2010), Delbosc et Currie (2013)* font tous remarquer que si cette tendance devait se maintenir de façon prolongée au-delà de trente-cinq ans, elle amènerait à terme une diminution globale du taux de titulaires du permis de conduire au sein de la population, avec des répercussions majeures sur la demande de transport.

Toutefois, d'autres analyses, comme par exemple celle de *Kim (2014)* aux Pays-Bas, soulignent que le recours à la voiture est plus tardif dans les nouvelles générations, mais tend à rattraper celui qui est observé chez leurs aînés à un âge plus avancé, vers l'âge de trente-cinq ans. Par conséquent, le recul de l'usage de la voiture qui est constaté chez les jeunes adultes témoignerait d'une entrée plus longue, difficile et incertaine dans la vie adulte, davantage que d'une désaffection de la jeunesse pour la voiture.

A l'aide d'une analyse par âge et cohorte réalisée dans le chapitre III, nous apporterons un certain nombre de données factuelles complémentaires sur cette question dans le cas de la France. En tout état de cause, la question de la persistance d'une faible auto-mobilité à des étapes plus avancées du cycle de vie au sein de ces générations demeure donc ouverte, tout en se posant d'une manière sans doute variable d'un pays à l'autre, en fonction notamment de l'organisation des territoires et des formes urbaines, ainsi que des évolutions dans la situation économique des nouvelles générations.

II.1.e) Vers une hiérarchisation des différentes hypothèses

L'ordre dans lequel nous avons présenté les différentes hypothèses relevées dans la littérature correspond à la crédibilité que nous pouvons leur accorder, au vu des éléments dont nous disposons. Toutefois, on donne dans cette section certaines justifications complémentaires du classement retenu quant aux causes fondamentales du plafonnement de l'usage de la voiture. En particulier, il s'agit de distinguer les facteurs qui jouent un rôle direct et actif dans les évolutions en cours, de ceux qui n'ont qu'une influence secondaire, contribuant seulement à amplifier dans un second temps des tendances dont les causes premières sont autres. Au final, le sentiment qui se dégage de la revue de la littérature est que les facteurs qui exercent l'influence la plus claire sur l'évolution de l'usage moyen de la voiture par adulte sont les causes économiques et la volonté de maîtriser les budgets-temps dans un contexte d'augmentation des coûts budgétaires et temporels de l'usage des véhicules. Ces effets sont par ailleurs renforcés par la phase du processus de diffusion du permis de conduire et de l'automobile dans laquelle nous nous trouvons, ces derniers

étant désormais en voie de convergence vers la saturation³⁶. La tendance au plafonnement de l'usage de la voiture résulterait donc essentiellement d'une combinaison de facteurs structurels, liés au processus de diffusion de l'automobile qui ne peut se poursuivre indéfiniment, et de causes conjoncturelles, liées à la baisse de l'usage des véhicules accompagnant l'augmentation des prix des carburants, amplifiée par les effets de la récession depuis 2008-2009. Ce diagnostic conduira, dans la suite de l'analyse, à mettre en place un modèle dans lequel on étudiera, d'une part les déterminants de la motorisation, d'autre part ceux de l'usage des véhicules. Pour justifier cette interprétation, nous proposons ici quatre critères épistémologiques pouvant être confrontés avec les indices dont nous disposons :

- L'existence de preuves empiriques, permettant d'étayer ou de réfuter les différentes hypothèses (a);
- Le degré de généralité présumé de leurs effets, restreints à certains territoires/groupes sociodémographiques ou bien plus généraux (b);
- La temporalité des événements : les « causes » doivent précéder les « effets » © ;
- Enfin, certaines hypothèses nous semblent constituer une décomposition de la tendance en éléments simples, plutôt qu'une explication à part entière : par exemple, l'évolution de l'utilisation des véhicules dépend à la fois de celle de la fréquence des déplacements, de leur longueur et des taux d'occupation des véhicules, mais chacune de ces évolutions demande elle-même à être expliquée (d).

Au regard du premier critère - l'existence de preuves empiriques - les éléments dont on dispose suggèrent une combinaison de causes « structurelles » (saturation partielle de la demande dans les hauts revenus, épuisement des effets de génération...) et « conjoncturelles » (augmentation des prix des carburants, récession économique, entraînant une rationalisation des attitudes...)³⁷. D'autres facteurs jouent un rôle avéré mais constituent une décomposition des tendances plutôt qu'une explication véritable. C'est le cas de la pratique de la journée de travail continue (*Hubert et al., 2013*) : résulte-t-elle par exemple du développement des services de restauration collective, de l'intensification des journées de travail, ou d'une volonté de maîtriser l'augmentation des coûts temporels et monétaires de la mobilité ? C'est le cas également de la baisse de la mobilité constatée chez les jeunes adultes. Quelles en sont les causes ? Or, les résultats disponibles suggèrent à nouveau une combinaison de facteurs structurels – allongement de la durée des

³⁶ C'est vrai du moins pour le permis de conduire, ainsi que pour le véhicule principal du ménage, la proportion de ménages motorisés ayant atteint un niveau très élevé. La détermination des seuils de saturation dans la diffusion du multi-équipement est plus discutable. En effet, même si celui-ci tend à plafonner en France depuis 2006, on ignore dans quelle mesure ce plateau correspond à un seuil de saturation, ou plutôt à un palier temporaire causé par les conditions économiques. Cette question n'est d'ailleurs pas indépendante de la détermination du niveau pertinent de rattachement de l'équipement automobile, comme bien du ménage ou comme bien individuel. Si, en effet, on considère le taux de motorisation des femmes, qui sont le plus souvent utilisatrices principales du second véhicule du ménage dans les couples, on est tentés de conclure à la persistance de réserves de croissance encore importantes pour l'équipement automobile des ménages, par comparaison avec les taux de motorisation observés chez les hommes. Si, par contre, l'équipement automobile demeure partiellement un bien de niveau ménage, alors le seuil de saturation pourrait se situer à un niveau nettement inférieur, et avoir déjà été atteint.

³⁷ La différence entre facteurs conjoncturels et structurels doit cependant être relativisée : peut-on encore considérer, par exemple, l'augmentation des prix des carburants comme conjoncturelle alors qu'elle se poursuit depuis maintenant plus d'une quinzaine d'années (bien qu'avec une forte volatilité) ? Les ménages semblent d'ailleurs avoir déjà intégré l'idée de prix des carburants durablement élevés et ajusté leurs comportements en conséquence.

études, habitat plus urbain – liés à l'évolution des modes de vie, et conjoncturels – chômage, coût des examens du permis de conduire et de l'utilisation des véhicules. A l'inverse, des zones d'ombre subsistent quant à l'influence de certains facteurs : les améliorations de l'offre de transports ont probablement contribué à limiter l'usage de la voiture, mais on ignore dans quelles proportions. De même, la nature exacte de l'influence exercée par les technologies de la communication sur les pratiques demeure incertaine. Enfin, les enquêtes suggèrent que les considérations environnementales jouent un rôle assez marginal dans les évolutions en cours.

Au regard du critère de généralité des effets (b), la dégradation de la performance comparée de la voiture par rapport aux autres modes apparaît comme un facteur susceptible d'avoir amplifié *et accéléré* le déclin de la voiture plutôt que comme une cause première, compte tenu du caractère général du plafonnement de l'usage de la voiture, qui se produit aussi dans les espaces d'urbanisation diffuse. En effet, aussi bien les améliorations des transports en commun que la dégradation des conditions de circulation et de stationnement touchent davantage les zones du cœur de l'agglomération que les espaces diffus, tandis que la voiture demeure plus compétitive que les modes alternatifs dans les communes rurales et périurbaines. Or, la stagnation de l'usage de la voiture se produit aussi bien dans les espaces d'urbanisation diffuse qu'à l'intérieur des agglomérations (*cf. section 1.3.d*). De même, la stagnation du kilométrage circulé par adulte n'est pas limitée aux jeunes adultes, même si ces derniers contribuent de manière plus importante que d'autres groupes d'âge à cette tendance. Les autres causes potentielles - effets de structure, technologies de la communication, évolution des attitudes - sont moins susceptibles d'avoir des effets homogènes. Par exemple, l'impact des technologies de la communication, de même que la sensibilité environnementale, sont sans doute très hétérogènes en fonction de la génération, de l'âge et du milieu social. De même, les évolutions du temps de travail n'exercent qu'une influence sur la mobilité des actifs. Seuls les niveaux de contrainte économique et une éventuelle saturation de la demande semblent donc susceptibles de présenter un caractère relativement général. Cependant, en dépit d'une réduction tendancielle des inégalités d'usage de la voiture accompagnant la diffusion de l'automobile, les niveaux d'usage de la voiture demeurent encore nettement en retrait chez les plus modestes, ce qui s'accorde mal avec l'hypothèse d'une saturation générale de la demande. On observe en revanche des signes de saturation partielle chez les plus aisés, en particulier au niveau des taux de motorisation.

Le critère d'antériorité des causes par rapport aux effets renforce l'hypothèse d'un phénomène principalement déclenché par le durcissement des contraintes économiques. Certes, le plafonnement de l'usage de la voiture précède la crise économique et financière qui commence à partir de 2008 aux Etats-Unis. Néanmoins, l'influence des facteurs économiques ne se réduit pas au PIB : la stagnation de la circulation accompagne ainsi une période de forte hausse des prix des carburants, mais aussi d'autres dépenses contraintes telles que l'alimentation et surtout le logement, qui commence dès la fin des années 1990.

En ce qui concerne plus spécifiquement les facteurs de recul de l'auto-mobilité chez les jeunes adultes, une tentative de hiérarchisation des causes est réalisée par *Delbosc et Currie (2013)*. Les causes les plus probables apparaissent comme une entrée plus tardive et plus incertaine dans les étapes considérées comme « traditionnelles » de la vie adulte, différant la nécessité de conduire, des difficultés financières accrues en lien avec le renforcement du coût et de la difficulté des examens du permis de conduire, ainsi qu'une concentration croissante des jeunes adultes dans les zones les plus densément urbanisées des grandes métropoles. Le rôle des technologies de la communication demeure incertain en raison du manque de preuves empiriques. Enfin, l'amélioration de l'offre de transport collectif et la mise en œuvre de mesures tarifaires pour les

jeunes jouent des rôles variables d'un pays à l'autre, avec un impact plus important dans les pays densément urbanisés, bénéficiant d'une offre de transport public abondante et bon marché.

Dans l'ensemble, les caractéristiques de l'inflexion des comportements observée dans les années 2000 - soudaineté, homogénéité, synchronicité avec la forte hausse des prix des carburants de l'an 2000 (*cf. section II.2.a.3*) - confortent l'hypothèse d'un effet de choc principalement déclenché par la forte hausse des prix de l'énergie (et de leur volatilité), éventuellement combiné avec les effets croisés de l'augmentation d'autres postes de dépenses contraintes pendant la même période. Les autres facteurs possibles, en effet, sont non seulement moins susceptibles de produire des effets aussi homogènes, mais également de provoquer des changements aussi soudains dans les comportements. Le vieillissement de la population, par exemple, la succession des générations ou les tendances à la ré-urbanisation, de même que la convergence des taux de motorisation vers la saturation, sont des tendances longues, caractérisées par une forte inertie, ayant pour la plupart d'entre elles commencé bien avant l'an 2000, et pour lesquelles on ne peut pas réellement observer de rupture mais plutôt des évolutions graduelles. Au contraire, les prix du carburant sont caractérisés par une forte volatilité, et les comportements ont commencé à changer peu après leur augmentation, qui commence vers la fin des années 1990, le point d'inflexion en l'an 2000 coïncidant de plus avec une très forte hausse annuelle des prix des carburants.

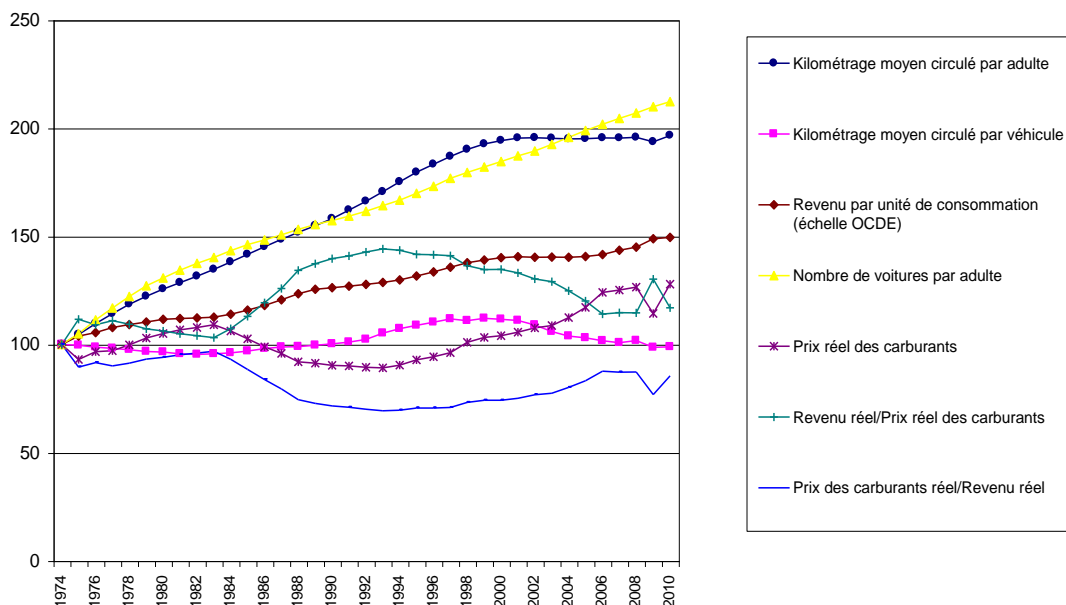
Cela ne veut pas dire pour autant que l'étude du rôle des évolutions de société soit à négliger d'une manière générale, même si la suite de notre recherche mettra davantage l'accent sur les causes économiques. Celles-ci sont susceptibles de contribuer, en particulier, à prolonger dans la durée des adaptations de comportements probablement circonstancielles à l'origine, les ménages étant devenus conscients de la nécessité de s'adapter. En outre, l'influence de certains facteurs pourrait dans une certaine mesure échapper à l'analyse et être plus importante qu'il n'y paraît à première vue. L'évaluation de leur importance réelle nécessiterait toutefois le recours à des études plus approfondies. C'est le cas en particulier de l'impact des politiques de stationnement, ainsi que des modifications éventuelles des choix résidentiels résultant notamment du recul de la taille des ménages, ainsi que le note *Headicar (2013)*. Ainsi, des politiques de stationnement restrictives, bien qu'elles dégradent surtout les conditions de stationnement en agglomération, sont susceptibles d'avoir des répercussions sur l'usage de la voiture s'étendant bien au-delà des zones auxquelles elles s'appliquent, en dissuadant de venir en ville les habitants des zones périurbaines. En outre, les évolutions de l'usage moyen de la voiture par adulte dans chaque zone peuvent masquer un certain degré d'hétérogénéité interne à chaque zone en fonction du lieu de résidence. Avec la diminution constante de la taille des ménages et l'érosion du modèle de vie familial, qui constituent des tendances lourdes à long terme, dont les effets sont potentiellement puissants et encore mal évalués, il se pourrait ainsi qu'on observe, à l'intérieur des espaces d'urbanisation diffuse, une tendance au rapprochement des ménages vers les bourgs et polarités secondaires. Cependant, la pleine mise en lumière de ces tendances nécessite des analyses spatiales à une échelle beaucoup plus fine qu'il n'est possible de le faire dans le cadre de cette étude.

II.2) Facteurs de diffusion de l'automobile et facteurs d'usage des véhicules

II.2.a) Trafic automobile, taux de motorisation des adultes et pouvoir d'achat énergétique

II.2.a.1) Jusqu'aux années 2000, la croissance du trafic est indexée sur celle du taux de motorisation des adultes

Séries longues pour plusieurs indicateurs, en indice base 100 en 1974



Graphique 16 : Trafic moyen par adulte (en véhicules*km), trafic moyen par véhicule, nombre moyen de voitures par adulte, revenu réel par unité de consommation (en € 2010), prix du carburant réel (en € 2010), pouvoir d'achat énergétique moyen, niveau de contrainte économique moyenne, en indice base 100 en 1974

Source : Enquêtes ParcAuto (1994-2010) et Enquêtes conjoncture auprès des ménages (1974-94)

Dans le graphique ci-dessus, on a représenté les évolutions respectives de l'usage moyen de la voiture par adulte³⁸ et du taux de motorisation des adultes³⁹, en indice base 100 en 1974. Ces évolutions sont mises en regard de certains indicateurs économiques, en particulier :

- Le niveau de vie moyen, à savoir le revenu par unité de consommation déflaté de l'inflation, en utilisant l'échelle de l'OCDE (cf. encadré, section III.1.b), pour le calcul du nombre d'unités de consommation du ménage ;
- Le prix moyen du carburant, calculé à partir des séries de prix pour l'essence et le *diesel*, pondérées par le nombre de véhicules pour chaque type de motorisation ;

³⁸ Défini comme le nombre de véhicules*km - ou le trafic automobile total - généré par l'ensemble des voitures dont disposent les ménages, divisé par le nombre d'adultes en âge de conduire.

³⁹ Défini comme le nombre de voitures dont disposent les ménages, divisé par le nombre d'adultes des ménages. Selon cette définition, le taux de motorisation individuel peut être supérieur à un, dès lors que le nombre de voitures du ménage est supérieur au nombre d'adultes. Cette situation, qui semble déjà effective aux Etats-Unis, traduit une évolution dans laquelle, non seulement l'usage de la voiture s'est entièrement individualisé, mais en outre, le ménage disposerait d'un véhicule additionnel pour couvrir certains besoins collectifs, par exemple pour effectuer certains déplacements occasionnels à longue distance.

- On en déduit également deux autres indicateurs, à savoir un indice de pouvoir d'achat énergétique – défini comme le revenu réel déflaté de l'évolution des prix des carburants – et un indice de contrainte financière, défini à l'inverse comme le prix réel du carburant déflaté de l'évolution du revenu réel.

Enfin, on calcule une série de kilométrage par véhicule, ou d'utilisation moyenne des véhicules, défini comme le rapport entre le trafic automobile total généré par l'ensemble des voitures à disposition des ménages et le nombre de voitures des ménages.

L'ensemble des séries utilisées permettent de retracer les évolutions sur plusieurs décennies, de 1974 à 2010. Pour pouvoir reconstituer les tendances sur une période aussi longue, il a été nécessaire, dans certains cas, de recoller des sources de données hétérogènes. Ainsi, les séries d'usage de la voiture et de taux d'équipement ont été obtenues en recollant les données des *Enquêtes Conjoncture Auprès des Ménages (ECAM)* réalisées jusqu'en 1994 et comportant un volet sur le parc automobile et son usage, avec les données du panel *ParcAuto* pour la période ultérieure. Les séries de prix du carburant sont issues d'une source exogène (*France-inflation.com*), de même que l'Indice des prix à la consommation (*IPC, source : INSEE*), utilisé pour corriger les séries de revenus et de prix de l'inflation.

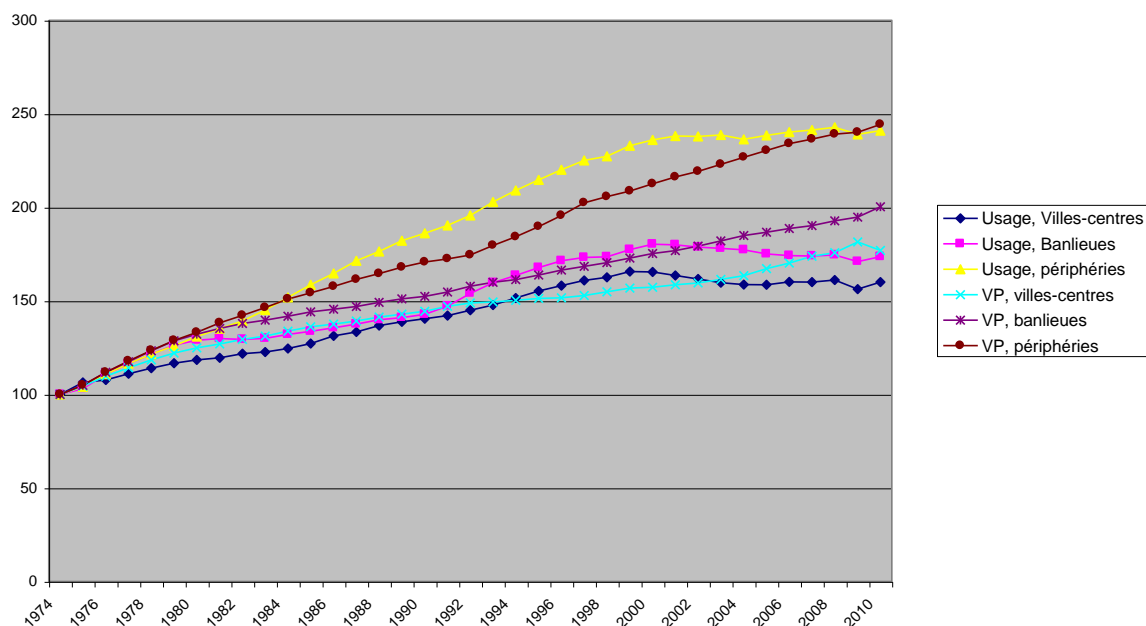
Dans la représentation graphique, les observations sont lissées sur une période de cinq ans, de manière à faire ressortir les tendances de long terme plutôt que les fluctuations de court terme. Le trafic moyen par adulte connaît ainsi une augmentation rapide jusqu'en 1997, avant de commencer à ralentir entre la fin des années 1990 et le début des années 2000, puis à plafonner. Il n'a pas retrouvé le chemin de la croissance depuis lors. Cependant, le trafic moyen par adulte a quasiment doublé entre 1974 et 2010, passant de 4 400 à 8 600 véhicules*km par adulte. Mais on observe surtout qu'à long terme, le kilométrage moyen par adulte croît comme le nombre de voitures par adulte, qui a progressé de 0,34 à 0,73 voitures par adulte au cours de la même période. Au contraire, l'usage moyen des véhicules tend à demeurer stationnaire sur l'ensemble de la période étudiée, autour de 13 000 km par véhicule, bien qu'avec des fluctuations intermédiaires.

Cette relation, vérifiée sur une aussi longue période, suggère que la principale cause de l'augmentation du trafic automobile réside dans l'accroissement de la proportion d'adultes ayant accès à un véhicule personnel, plutôt que dans un accroissement de l'usage des véhicules. Autrement dit, davantage d'adultes conduisent, mais les adultes ne conduisent pas davantage. Par conséquent, on pourrait s'attendre à ce que la saturation du trafic automobile survienne dès lors que chaque individu adulte en ayant potentiellement le besoin sera équipé d'un véhicule personnel, ou bien auparavant, si des entraves⁴⁰ à la diffusion de l'automobile subsistent.

A long terme, l'augmentation du kilométrage moyen par adulte est donc indexée sur le nombre de voitures par adulte. Pour autant, on ne saurait réellement interpréter la croissance du taux de motorisation comme étant la "cause" de la croissance de l'usage de la voiture, dans la mesure où l'évolution du taux de motorisation reflète lui-même sans doute des besoins d'utilisation de la voiture qui augmentent. L'augmentation du nombre de voitures par adulte, aussi bien que du kilométrage moyen par adulte, semblent plutôt devoir être interprétées comme étant déterminées conjointement par celles de la dépendance automobile des individus et des ménages.

⁴⁰ Notamment financières.

Kilométrage moyen circulé et nombre de voitures par adulte, selon la zone de résidence, en indice base 100 en 1974



Graphique 17 : Trafic moyen et nombre de voitures par adulte, par zone de résidence et année

Sources : Enquêtes conjonctures auprès des ménages (1974-1994) et ParcAuto (1995-2010)

On remarque également que la relation de long terme entre l'évolution du kilométrage moyen par adulte et celle du taux de motorisation des adultes se trouve assez bien vérifiée pour chaque type de zone de résidence. Cette affirmation doit toutefois être nuancée dans le cas des espaces d'urbanisation diffuse, où la croissance de l'usage moyen de la voiture par adulte est plus rapide que celle du taux de motorisation à partir du milieu des années 1980, indiquant que l'utilisation moyenne des véhicules, au lieu d'être stationnaire comme elle tend à l'être à l'intérieur des agglomérations, augmente légèrement au cours du temps. La progression du trafic moyen par adulte s'y explique donc tout à la fois par l'accroissement de la proportion d'adultes disposant d'un accès à un véhicule personnel, et par l'augmentation de l'usage moyen des véhicules. Mais en outre, le taux de motorisation y augmente plus vite que dans les agglomérations. Ce décrochage se produit depuis le début des années 80, et n'a cessé depuis lors de s'amplifier. Les raisons de la croissance plus rapide du taux de motorisation dans les espaces d'urbanisation diffuse seront abordées dans la section II.2.b. Au final, compte tenu d'une augmentation plus rapide à la fois du taux de motorisation des adultes et de l'utilisation moyenne des véhicules chez les adultes motorisés, le kilométrage moyen par adulte y augmente beaucoup plus vite que dans les agglomérations, et l'écart de kilométrage moyen par adulte entre les agglomérations et les espaces d'urbanisation diffuse n'a jamais cessé d'augmenter. Etant donné qu'en plus la proportion d'habitants des espaces d'urbanisation diffuse n'a cessé d'augmenter, le trafic généré par les résidents de ces espaces représente une part croissante du trafic automobile total.

La raison pour laquelle l'utilisation moyenne des véhicules demeure stationnaire dans les agglomérations, alors qu'elle augmente tendanciellement dans les espaces d'urbanisation diffuse, semble pouvoir avant tout être rapportée à l'évolution des formes de l'urbanisation. A l'intérieur du périmètre des agglomérations – et même si ce périmètre évolue (Julien, 2000) – la répartition des résidents sur le territoire évolue finalement assez peu. A l'inverse, les espaces d'urbanisation diffuse sont caractérisés par une urbanisation toujours plus extensive, qui se traduit par

l'allongement constant des distances domicile-travail (*Hubert, 2009*). Certains auteurs (*Collet, 2008 ; Collet et al., 2010*) montrent également l'existence de phénomènes d'addiction à l'automobile, qui pourraient contribuer à expliquer l'allongement des distances dans le périurbain. Toutefois, l'extension des zones périurbaines et l'allongement des distances qui en résulte, provient essentiellement du renouvellement démographique de ces espaces par l'apport de populations nouvelles, qui sont contraintes de s'éloigner toujours plus loin du cœur de l'agglomération pour réaliser leur projet résidentiel.

L'hypothèse d'une indexation du kilométrage moyen par adulte sur l'évolution du taux de motorisation est toutefois assez bien vérifiée, même dans les espaces d'urbanisation diffuse. Cependant, la nature du lien entre le trafic automobile et le taux de motorisation n'est pas aussi immédiate qu'il y paraît à première vue, et nécessite quelques explications complémentaires. L'argument général qui permet de justifier cette relation d'un point de vue théorique est qu'une proportion croissante d'adultes se voit donnée l'accès à un véhicule personnel lui permettant d'avoir une mobilité autonome. Cependant, cet argument peut lui-même recouvrir trois mécanismes distincts et complémentaires :

- **La génération de nouveaux besoins de mobilité** : l'accroissement du taux de motorisation individuel correspond à de nouveaux besoins de mobilité, générant du trafic supplémentaire. Ce mécanisme permet par exemple d'expliquer l'impact de l'augmentation du taux d'activité professionnelle des femmes sur l'évolution du trafic automobile. En effet, des besoins de mobilité additionnels, résultant des déplacements quotidiens des femmes vers le travail, suscitent des décisions de motorisation, et en particulier d'acquisition d'une seconde voiture au sein des ménages, en vue de pourvoir à ces besoins, générant au final du trafic additionnel ;
- **Le report modal** : par exemple, dans le cas où le conjoint travaillait déjà, mais l'acquisition d'un second véhicule l'amène à changer ses habitudes de mobilité, en particulier pour les déplacements vers le travail, en passant des transports en commun à la voiture, par exemple. Dans ce cas, l'augmentation du kilométrage moyen par adulte ne résulte pas d'une augmentation des besoins de mobilité, mais d'une augmentation de la part modale de la voiture pour les déplacements quotidiens ;
- **L'individualisation de la mobilité** : avec l'arrivée d'un second véhicule, certains déplacements autrefois effectués en commun sont à présent effectués individuellement, entraînant une baisse des taux d'occupation des véhicules. En particulier, les taux d'occupation des voitures pour les déplacements vers le travail sont à présent proches d'une seule personne par voiture.

Les exemples donnés ci-dessus soulignent l'impact de la diffusion du second véhicule, plutôt que de la diffusion du véhicule principal du ménage. Ce point de vue sera pleinement justifié lors de la présentation des résultats du chapitre III. C'est que la croissance du taux d'équipement, en effet, vient désormais surtout de la diffusion de la seconde voiture, qui contribue le plus significativement à modifier les habitudes de mobilité dans les ménages, en particulier chez les femmes.

Ces évolutions traduisent, dans le domaine de la mobilité, le processus global d'individualisation des sociétés contemporaines, également observable dans d'autres domaines tels que la formation de la demande de logements, nourrie par la diminution constante de la taille des ménages, tout

comme l'augmentation de la proportion d'adultes motorisés entraîne une augmentation du trafic automobile.

On a présenté dans la section II.1.a les arguments en faveur de l'hypothèse de saturation de la demande, qui sont à la fois théoriques et empiriques. Ces arguments reposent notamment sur la prise en compte d'invariants constatés dans les comportements de mobilité - par exemple, le nombre moyen de déplacements par jour et par personne, ou le temps moyen quotidiennement consacré par un individu à se déplacer – qui permet, *a contrario*, d'identifier les facteurs de croissance de la demande de transport, notamment, l'augmentation de la distance des déplacements quotidiens, qui provient notamment de la proportion croissante de déplacements réalisés en voiture. L'analyse des enquêtes nationales transport, en effet, permet de soutenir que l'augmentation de la distance et de la vitesse moyenne des déplacements quotidiens a pour cause principale l'augmentation de la part modale de la voiture (*cf. chapitre I*). Etant donné que le nombre de déplacements quotidiens par personne évolue peu, on peut donc s'attendre à ce que la distance totale parcourue quotidiennement par un adulte plafonne dès lors que la proportion de déplacements quotidiens réalisés en voiture parviendra à un niveau d'équilibre, ce qui arrivera nécessairement tôt ou tard. Même en cas de très forte baisse du coût d'utilisation des véhicules, ce niveau d'équilibre se situera vraisemblablement à un niveau strictement inférieur à la situation dans laquelle *tous* les déplacements quotidiens seraient réalisés en voiture, notamment parce qu'il demeurera toujours un certain nombre de cas dans lesquels d'autres modes que la voiture seront plus avantageux, par exemple en zone urbaine dense, compte tenu des difficultés de circulation et de stationnement.

Or, l'évolution de la part modale de la voiture est elle-même corrélée à celle du taux de motorisation, qui permet à une proportion croissante d'individus d'utiliser la voiture pour leurs déplacements quotidiens, en particulier vers le lieu de travail. En supposant l'évolution du trafic moyen par adulte indexée sur celle du taux de motorisation - avec la définition de ce dernier qui précède - alors celui-ci devrait continuer de croître au-delà du seuil d'individualisation complète de la mobilité, si le nombre de voitures devait dépasser le nombre d'adultes du ménage (ou de détenteurs du permis de conduire).

Encadré 1 : Le suréquipement des ménages en voitures particulières

A partir des données de *ParcAuto*, il est possible d'estimer la fréquence des cas de suréquipement des ménages en voitures particulières, c'est-à-dire les cas où l'on observe que les ménages disposent de plus de voitures que d'adultes détenteurs du permis. En général, le nombre de voitures du ménage est inférieur ou égal au nombre des détenteurs du permis de conduire. Ainsi, parmi les ménages ne comprenant aucun détenteur du permis, 92,2 % n'ont pas de voiture. De même, parmi les ménages n'ayant qu'un seul titulaire du permis, 95,5 % ont au plus une voiture, ce qui laisse tout de même une certaine proportion de ménages ayant davantage de voitures que de titulaires du permis. Ainsi, parmi les ménages comprenant deux titulaires du permis par exemple, 3,7 % ont au moins trois voitures. De même, parmi ceux qui comprennent trois titulaires du permis, 3,2 % ont au moins quatre voitures. Tous ménages confondus, 4,3 % d'entre eux ont déclaré disposer de davantage de voitures que de titulaires du permis. De plus, cette proportion avait jusqu'à il y a quelques années tendance à augmenter, progressant de 3,6 % en 1994 à 5,3 % en 2010, mais semble décroître depuis 2006. La tendance au suréquipement en voitures particulières, correspondant à une possible logique de spécialisation des véhicules, demeure donc à ce jour à minoritaire en France, et ne semble pas devoir se généraliser à court terme.

Néanmoins, nous émettons l'hypothèse que les véhicules supplémentaires ne génèrent pas de mobilité supplémentaire au-delà du seuil d'individualisation complète des déplacements. En effet, admettre cette hypothèse reviendrait à supposer que l'augmentation du nombre de voitures du ménage génère de la mobilité induite, par exemple dans le cadre de phénomènes d'addiction. Or, les Enquêtes Nationales Transports tendent à prouver que la mobilité moyenne demeure relativement invariante au cours du temps, et ne dépend pas de l'évolution des niveaux d'équipement automobile, qui modifient seulement la manière dont les individus se déplacent. On peut supposer dans ce cas que, si tous les déplacements du ménage sont déjà effectués en voiture, le fait d'ajouter un véhicule supplémentaire spécialisé ne modifiera pas le kilométrage total parcouru par le ménage, mais entraînera une baisse du kilométrage par véhicule.

Dès lors, il semble plus logique de supposer que le kilométrage par adulte est indexé, non sur le nombre de voitures par adulte, mais sur la proportion d'adultes ayant accès à un véhicule personnel, ce qui conduit à proposer une définition alternative de la motorisation des adultes, définie comme le fait pour un adulte d'être l'utilisateur principal d'au moins l'un des véhicules du ménage. Cette définition présente l'avantage de pouvoir prendre en compte les phénomènes de saturation, qui surviendront inévitablement dans un modèle utilisant le taux de motorisation ainsi défini comme principal facteur explicatif de la croissance à long terme du kilométrage moyen par adulte, dès lors que chaque adulte en ayant le besoin aura accès à un véhicule personnel, lui garantissant une pleine autonomie dans ses déplacements. Mais elle présente également un avantage pratique, dans la mesure où les utilisateurs principaux de véhicules peuvent aisément être identifiés à partir de *ParcAuto*⁴¹.

Une implication importante de ces résultats est qu'ils montrent l'intérêt de prendre explicitement en compte le taux de motorisation à un niveau individuel dans la modélisation du trafic, ce que ne font généralement pas les modèles gouvernementaux de projection de la demande de transport et du trafic automobile, qui tendent le plus souvent à représenter celui-ci directement comme une fonction des conditions économiques (PIB, revenus, prix du carburant, taux de chômage...), sans distinguer leurs effets respectifs sur le taux de motorisation et l'utilisation des véhicules. Or, dans la croissance du trafic automobile par habitant, il semble qu'on puisse clairement distinguer l'évolution du taux de motorisation individuel, qui reflète le processus structurel de diffusion de l'automobile à long terme et s'avère relativement indépendante des fluctuations du contexte économique, de l'utilisation des véhicules, qui présente une tendance globalement stationnaire, tout en fluctuant de manière assez importante à moyen terme⁴². On s'appuiera ensuite sur ces constats pour construire un modèle simple du kilométrage moyen par adulte sur séries temporelles dans la section II.2.a.5.

II.2.a.2) Depuis les années 2000, une dé-corrélation entre trafic et taux d'équipement

A partir des années 2000, l'évolution de l'usage moyen de la voiture tend à être dé-corrélée de celle du taux de motorisation. En effet, la croissance du taux de motorisation se poursuit alors que l'usage de la voiture plafonne. Cette désindexation se produit partout, même dans les espaces d'urbanisation diffuse, où l'utilisation moyenne des véhicules tend également à se stabiliser, puis à

⁴¹ Dans *ParcAuto*, l'utilisateur principal d'un véhicule est défini comme celui qui a parcouru la plus grande distance avec ce véhicule sur l'ensemble de l'année.

⁴² Les causes de ces fluctuations seront abordées dans la section II.2.a.3.

décroître, à partir de la fin des années 1990. Ce « découplage » avait déjà été remarqué à une échelle plus locale dans le cadre d'un rapport pointant les évolutions de la mobilité dans les grandes agglomérations françaises, qui soulignait que l'utilisation de la voiture y baissait, alors même que l'équipement automobile des ménages y continuait de croître (*Guidez et al., 2007*). A l'échelle nationale, *Robin (2010)* observait, à partir des Enquêtes Nationales Transport, que le parc automobile des ménages avait poursuivi sa progression au rythme de 1,6 % par an entre 1994 et 2008, en raison à la fois de la croissance démographique et de la motorisation croissante des ménages, tandis que les véhicules étaient de moins en moins utilisés et que la circulation engendrée par chaque ménage diminuait. De même selon la série des bilans de la circulation présentés à la Commission des Comptes Transport de la Nation, la circulation des voitures particulières plafonne depuis 2003 aux environs de 410 G veh*km, alors que le parc de voitures particulières a continué de progresser, passant d'environ 29 à 33 millions entre 2003 et 2013. Toutefois, l'examen des données récentes sur l'évolution du parc automobile et de la circulation routière conduit à nuancer ce diagnostic. En effet, depuis 2009, la circulation des voitures particulières semble légèrement repartir à la hausse, avec une croissance de + 0,5 % par an en moyenne entre 2008 et 2013, en ligne avec la croissance du parc de voitures particulières au cours de la même période (*CGDD, 2014*). La dé-corrélation entre l'évolution du trafic automobile et celle du parc semble donc avoir été temporaire, mais ne s'applique plus à la période récente, compte tenu d'une tendance récente à la stabilisation des parcours annuels moyens des véhicules après un net recul entre 1994 et 2008, avec un repli limité à - 0,1 % par an en moyenne entre 2008 et 2013.

Ces résultats suggèrent que la « dé-corrélation » apparente entre la croissance du parc et celle du trafic automobile présentait sans doute un caractère temporaire, les ménages ayant probablement cherché à compenser la hausse des prix des carburants par la réduction de l'usage des véhicules de manière à maintenir leur niveau d'usage constant et à maîtriser l'évolution de leur taux d'effort budgétaire. A contrario, la tendance à la stabilisation des parcours annuels dans la période récente suggère que les ménages ont sans doute épuisé leurs marges de manœuvre dans la réduction de l'usage de la voiture, ou bien sont parvenus à un niveau de coefficient budgétaire suffisamment bas pour leur permettre d'envisager de relâcher au moins temporairement leur effort de rationalisation de l'usage des véhicules, une interprétation qui est renforcée par le fait que l'année 2009 correspond à un point bas dans le coefficient budgétaire des ménages pour les dépenses en carburants.

Ces réflexions conduisent à penser que l'alignement de la croissance du trafic sur celle du parc automobile ne présente pas un caractère automatique, mais dépend de l'évolution des parcours annuels moyens des véhicules, elle-même liée à celle des prix des carburants. L'indexation du kilométrage moyen par adulte sur la proportion d'adultes motorisés suppose en effet que l'utilisation des véhicules demeure globalement constante et varie dans de faibles proportions, ce qui n'est d'évidence pas le cas dans la décennie 2000, où celle-ci a fortement baissé en relation avec des prix du carburant en forte augmentation. Afin de modéliser correctement l'évolution du trafic automobile, une possibilité consisterait donc à modéliser de manière indépendante le parc automobile et les parcours annuels moyens des véhicules, puis à articuler ces deux modèles. Une possibilité alternative consiste à considérer que l'évolution du parc et celle du parcours annuel moyen des véhicules ne sont pas indépendantes, mais corrélées, notamment à travers une volonté de rationalisation de l'usage global des véhicules au niveau du ménage⁴³.

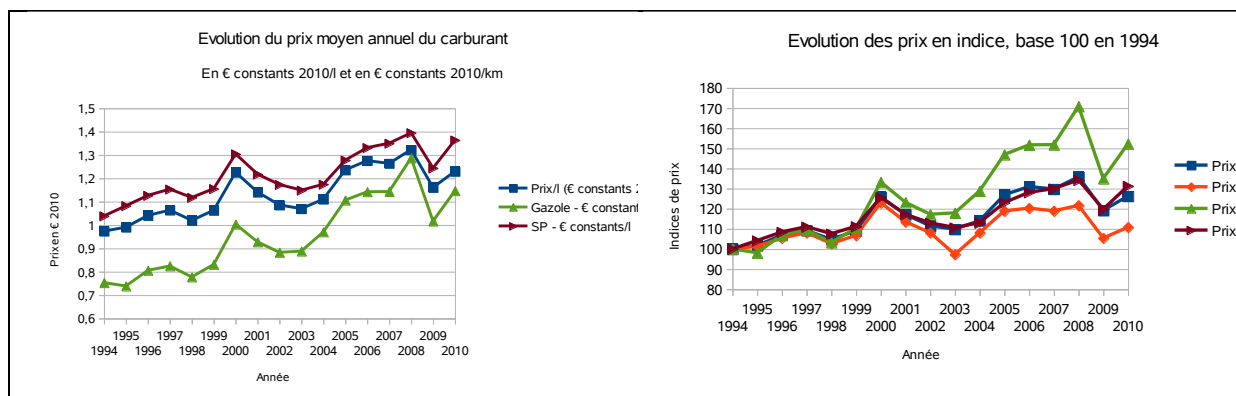
⁴³ Cette hypothèse sera discutée dans la section II.2.a.6.

II.2.a.3) L'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés fluctue en fonction du pouvoir d'achat énergétique

Si le taux de motorisation des adultes croît de manière très régulière et quasi-linéaire depuis le début des années 1980, en revanche le kilométrage moyen par adulte serpente autour de ce trend de croissance à long terme. Ainsi, depuis le milieu des années 1970 jusqu'au début des années 1980, le trafic moyen par adulte augmentait plus lentement que le taux de motorisation ; ensuite, il augmente plus rapidement que le taux de motorisation jusqu'à la fin des années 1990 ; puis, il ralentit à nouveau sa croissance à un rythme inférieur à celui du taux de motorisation, avant de plafonner dans les années 2000. Par conséquent, tandis que l'évolution du taux de motorisation semble suivre un processus de diffusion quasi-inexorable, insensible aux fluctuations des revenus et des prix - une tendance en phase avec plusieurs résultats de la littérature (*Alperovitch et al., 1999; Matas et Raymond, 2008 ; Nolan, 2010*) - les fluctuations de l'usage moyen des véhicules, ainsi que du kilométrage moyen par adulte autour de son *trend* de croissance à long terme, semblent assez bien pouvoir s'expliquer par celles des revenus et des prix des carburants.

En effet, la période entre le milieu des années 1970 et le début des années 1980, pendant laquelle l'utilisation moyenne des véhicules décroît, correspond aux répercussions des chocs pétroliers des années 1970 sur l'évolution des prix des carburants, tandis que le regain de vigueur de l'usage des véhicules jusqu'au milieu des années 1990 traduit au contraire l'impact du contre-choc pétrolier des années 1980. Depuis lors, malgré une volatilité certaine, les prix réels des carburants ont toujours été orientés à la hausse, et leur évolution semble donc très bien pouvoir expliquer le plafonnement de l'usage de la voiture qui commence justement à partir de la fin des années 1990, alors que l'augmentation des prix des carburants s'accélère dans la première moitié des années 2000. Dans le même temps, le revenu réel moyen augmente à long terme, mais en alternant des périodes de croissance et de stagnation d'environ cinq ans. La dynamique d'élévation générale du niveau de vie est également susceptible d'avoir exercé une influence spécifique sur la stabilisation de l'usage moyen de la voiture par adulte, la première moitié des années 2000 correspondant à la plus longue période de stagnation du revenu moyen en termes réels depuis les années 1970.

Par conséquent, bien que suivant une tendance stationnaire, l'utilisation moyenne des véhicules semble fluctuer en fonction des indicateurs économiques de revenus et de prix réels du carburant, dont dépend l'évolution du pouvoir d'achat énergétique des ménages. La relation de l'usage moyen de la voiture avec les facteurs de revenus et de prix est du reste assez bien établie d'après la littérature économétrique (par ex. *Graham et Glaister, 2004; Goodwin et al., 2004*). Le plafonnement de l'usage de la voiture dans les années 2000 correspond globalement à une période prolongée de dégradation de l'indice de pouvoir d'achat énergétique des ménages, résultant principalement de la forte augmentation des prix des carburants en termes réels, et marginalement de la stagnation temporaire des revenus réels au début de la décennie. L'indicateur de pouvoir d'achat énergétique des ménages décroît ainsi globalement de - 18,8 % (de 144 à 117) entre 1994 et 2010, déclin faisant suite à une progression antérieure de + 39,8 % entre 1983 et 1993 (de 103 à 144), consécutive au contre-choc pétrolier.



Graphique 18 : Evolution des prix des carburants en niveau et en indice (€ constants 2010)
Source : France-Inflation

Si on analyse de plus près la période d'augmentation des prix des carburants depuis 1993, on observe qu'elle s'accompagne d'une forte volatilité, signe de la fébrilité des marchés. Pendant toute cette période, les prix des carburants vont connaître des variations épiques. Ainsi, après avoir atteint un point bas à 13,7 \$ en Décembre 1993, le prix du baril de brut augmente jusqu'à atteindre un premier pic à 33,0 \$ en Septembre 2000, puis décline jusqu'en Décembre 2001 où il redescend à 18,7 \$ par baril. Ensuite, il remonte jusqu'en Février 2003 où il retrouvera son niveau de la fin de l'année 2000, à 32,7 \$ le baril. Demeurant plus ou moins stationnaire jusqu'en Février 2004, il va connaître par la suite une période de très forte progression s'étalant sur plusieurs années, jusqu'à atteindre 73,6 \$ en Juillet 2006. Puis, après une période de modération temporaire qui le fera redescendre à 53,6 \$ en Janvier 2007, il reprend sa trajectoire de hausse à long terme, passant la barre symbolique des 100 \$ le baril dans le courant de l'année 2008, jusqu'à atteindre un pic de 133,4 \$ en Juillet 2008. Ensuite, il va littéralement s'effondrer jusqu'à redescendre à 40,3 \$ le baril en Décembre 2008. Après cela, il reprend le chemin de la hausse jusqu'à atteindre un nouveau pic à 124,5 \$ le baril en Mars 2012. Pour finir, il tend à se stabiliser aux alentours de 110 \$ le baril jusqu'en Juillet 2014, avant de connaître une nouvelle période de baisse qui va les faire redescendre à 55,8 \$ le baril en Mars 2015 (Source : INSEE, Cours des matières premières importées – pétrole brut « Brent », Londres).

Bien que les prix des carburants payés par le consommateur ne varient pas dans les mêmes proportions que le prix du baril, étant constitués d'une proportion importante de taxes, ils ont tout de même nettement augmenté au cours de cette période. Les prix augmentent, en effet, depuis le milieu des années 1990 pour le gazole afin de réduire le différentiel avec l'essence, et depuis le début des années 2000 pour l'essence (CGDD, 2012). Cette hausse est nettement supérieure à l'inflation sur la période 1990-2010 - + 2,6 % par an pour le super sans plomb 95 et + 3,8 % par an pour le gazole contre + 1,8 % d'inflation générale. Pour la période récente, les prix des carburants à la pompe, après avoir fortement baissé en 2009, augmentent à nouveau par la suite jusqu'à connaître un nouveau pic en 2012, à plus de 1,6 €/l pour le super sans plomb et 1,4 €/l pour le gazole. Depuis lors, ils tendent à baisser, avec notamment un fort repli au second semestre 2014. Cette baisse concerne cependant surtout le prix du super sans plomb, qui a rattrapé celui du gazole aux alentours de 1,4 €/l, selon le rapport à la Commission des Comptes Transport de la Nation (CGDD, 2014). La baisse relative des prix de l'essence s'explique sans doute par la réduction des volumes consommés, les livraisons d'essence reculant fortement, tandis que celles de gazole ralentissent leur progression (Source : DGE, CPDP, calculs SOeS in CGDD, 2014). Observons qu'en raison de l'augmentation plus rapide du prix du gazole – qui traduit l'évolution différenciée de la fiscalité – l'avantage comparatif du gazole sur l'essence se réduit. Toutefois, les

prix du gazole conservent malgré tout encore un avantage sur l'essence, renforcé par la différence de consommation entre les deux types de motorisation.

A l'heure actuelle, on ne dispose pas du recul suffisant pour déterminer si le repli des prix des carburants récemment enregistré présente un caractère durable ou temporaire avant une nouvelle envolée des prix, mais la volatilité des prix n'a pas de raisons *a priori* de baisser, car elle semble devoir être liée à l'activité des marchés de matières premières qui s'est intensifiée depuis le milieu des années 1990. L'ajustement brutal à la baisse de 2009 avait ainsi déjà été suivi par une nouvelle période de hausse. La baisse récente ne semble pas pour l'instant remettre en cause la tendance haussière à long terme – 5 % par an en moyenne depuis 1990 - reflétant les anticipations des opérateurs de marché.

Une explication de la baisse du kilométrage par véhicule, alternative au pouvoir d'achat énergétique, est le développement du multi-équipement, dans la mesure où les véhicules additionnels tendent à être utilisés de manière moins intensive que le véhicule principal du ménage, un résultat que l'on mettra notamment en évidence dans la section III.1. En outre, en l'absence de croissance de l'usage total de la voiture au niveau du ménage, l'augmentation du nombre de véhicules par ménage entraînerait une réduction du kilométrage par véhicule, dans la mesure où un même kilométrage serait réparti sur un plus grand nombre de véhicules (CGDD, 2012). Toutefois, ce raisonnement ne vaut que dans la mesure où l'augmentation du nombre de véhicules par ménage n'a pas d'impact sur le kilométrage total parcouru. Cette hypothèse semble valable pour certains déplacements discrétionnaires, tels que les déplacements pour les vacances, qui sont fréquemment effectués en commun avec le véhicule principal du ménage. En revanche, pour les déplacements vers le travail, le multi-équipement se traduit généralement par une augmentation du nombre d'adultes qui utilisent la voiture pour se rendre à leur lieu de travail, entraînant une augmentation du kilométrage total parcouru au niveau du ménage, de sorte que le kilométrage par véhicule n'a alors pas de raisons de diminuer de façon substantielle, excepté si le conjoint effectue des déplacements plus courts vers son travail⁴⁴.

CGDD (2012) observe également qu'une des raisons de la baisse des kilométrages est l'augmentation de la proportion de véhicules de seconde main. En effet, les kilométrages annuels tendent à décroître avec le vieillissement du parc automobile. Par exemple, le kilométrage moyen des véhicules essence décroît de 11 900 à 8 700 km entre 1990 et 2010, et celui des véhicules *diesel* de 21 300 km à 15 800 km. Une explication complémentaire à la hausse des prix des carburants pour la baisse du kilométrage par véhicule par type de motorisation est donc que les ménages cherchent à différer l'achat d'un nouveau véhicule en « faisant durer » les véhicules qu'ils possèdent le plus longtemps possible. Dans tous les cas, les motivations économiques apparaissent déterminantes.

Il peut sembler paradoxal que l'utilisation moyenne des véhicules demeure stationnaire chez les adultes motorisés. En effet, les distances moyennes des déplacements quotidiens, en particulier des déplacements vers le travail, tendent à augmenter avec le desserrement spatial des bassins de vie, et la fréquence moyenne des déplacements à longue distance tend également à augmenter au fil du temps. L'ensemble de ces tendances devrait se traduire au final par une utilisation de plus en plus intensive des véhicules. Toutefois, il se peut que ces évolutions soient endogénéisées par la progression des taux d'équipement qui traduit, au moins dans une certaine mesure, la

⁴⁴ Ce qui semble être le cas pour les femmes (cf. section III.1.c.3).

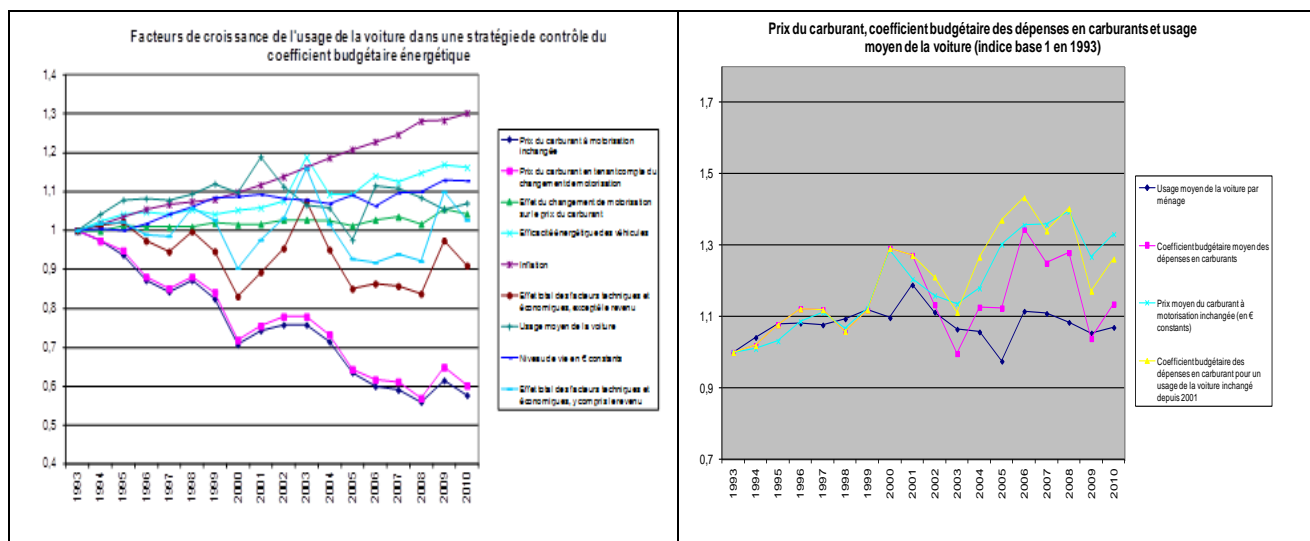
dépendance automobile croissante des ménages. D'un côté en effet, le taux d'équipement individuel augmente *parce que* les individus doivent effectuer des distances de plus en plus importantes pour se rendre à leur travail ainsi qu'à leurs diverses activités, et sont de ce fait de plus en plus dépendants de l'automobile. Le choix pour un individu adulte d'être motorisé plutôt que de ne pas l'être traduirait donc déjà un certain niveau de dépendance automobile. Mais en outre, le fait d'être motorisé *permet* d'envisager des choix résidentiels plus diversifiés ainsi qu'un mode de vie organisé au sein de bassins de vie élargis, se traduisant par des distances de déplacements plus importantes chez les personnes motorisées que chez les personnes non-motorisées. Par conséquent, le fait d'être motorisé *entraîne* une augmentation de la distance moyenne de déplacement, en transformant conjointement les choix résidentiels et de mobilité.

D'une manière générale, il existe donc une double relation de causalité inverse entre le fait d'être motorisé et les distances de déplacements, résultant de besoins de mobilité endogénéisés par le choix de motorisation, et du potentiel de mobilité offert par l'automobile. Cependant, une fois qu'un individu a fait le choix d'être motorisé, ses besoins de mobilité n'ont pas de raisons d'augmenter au fil du temps, et son utilisation de la voiture est limitée par le temps disponible qu'il aura choisi dès le départ de consacrer à ses déplacements quotidiens. En effet, le temps de déplacement quotidien par personne étant en moyenne stable à long terme, la distance totale parcourue par les individus quotidiennement augmente avec le fait d'être motorisé en raison de la progression de la vitesse de déplacement que la motorisation permet. Mais une fois un individu motorisé, il ne peut plus espérer de gain significatif de vitesse de déplacement, et donc, le temps qu'il peut consacrer à ses déplacements étant limité, l'utilisation des véhicules n'a pas non plus de raisons d'augmenter de manière significative. Les hypothèses de *Zahavi (1980)* et *Marchetti (1994)* sur la stabilité des budgets-temps de transport combinée avec les effets du progrès technique sur les vitesses de déplacements semblent donc à nouveau permettre assez bien de rendre compte de la stabilité de l'utilisation moyenne des véhicules, tout comme elles permettent de rendre compte de l'accroissement de la distance de déplacement *moyenne*.

II.2.a.4) Une stratégie de maîtrise du coefficient budgétaire énergétique

Dans cette sous-section, on compare l'évolution réelle de l'usage de la voiture avec une vision théorique dans laquelle l'usage de la voiture serait censé résulter de plusieurs facteurs :

- L'évolution des prix des carburants en € courants ;
- Une transition dans les types de motorisation, principalement en raison du remplacement progressif des motorisations *essence* par les véhicules *diesel*. Depuis 2009 cependant, la préférence pour le *diesel* semble s'atténuer, les ventes de véhicules *diesel* ayant fortement chuté, une évolution dont les causes sont sans doute multiples (*cf. chapitre I*). Cependant, la proportion de véhicules *diesel* au sein du parc continue de progresser, bien qu'à un rythme ralenti ;
- L'efficacité énergétique croissante des véhicules, pour un type de motorisation donné, exprimée en km/l ;
- L'inflation ;
- Le niveau de vie, exprimé en € constants par unité de consommation.



Graphique 19.a,b : « Composantes de la croissance de l'usage de la voiture dans une stratégie de contrôle du coefficient budgétaire transports » et « Prix du carburant, coefficient budgétaire et usage moyen de la voiture en indice base 1 en 1993 »

Le niveau théorique d'usage de la voiture pour une année déterminée est supposé résulter d'une stratégie dans laquelle les ménages s'efforcent de maintenir leur taux d'effort budgétaire en carburant constant à long terme, une hypothèse cohérente avec l'évolution observée du coefficient budgétaire des carburants depuis le milieu des années 1980 selon la Comptabilité Nationale (*cf. chapitre I*), qui demeure à un niveau relativement stable de 3-4 % en moyenne, bien qu'avec des fluctuations de court terme liées à la volatilité des prix des carburants. Sous cette hypothèse, les facteurs précédemment listés peuvent être considérés comme des composantes théoriques de la croissance de l'usage moyen de la voiture, qui sont représentés dans la figure ci-dessus. L'effet des facteurs techniques et économiques, revenu compris, serait une croissance totale de 3,1 % de l'usage moyen de la voiture entre 1993 et 2010, un résultat qui n'est pas très éloigné de l'évolution réelle, estimée à 7 %. Par conséquent, l'hypothèse d'une stratégie permanente de contrôle de la part budgétaire dévolue aux carburants à long terme semble s'accorder assez bien avec les observations.

Toutefois, les fluctuations des prix des carburants ont été très importantes au cours de cette période, avec plusieurs pics successifs en 2000, 2006, mi-2008 ainsi qu'en 2012. Or, ces pics coïncident avec le commencement de périodes de baisse de l'usage de la voiture, et semblent donc constituer le facteur déclencheur qui incite les ménages à mettre en œuvre des stratégies de rationalisation de leur mobilité. Une rationalisation de l'usage de la voiture, entraînant dans son sillage un recul du prix du carburant, semble survenir lors de l'atteinte d'un taux d'effort de 4,6 à 4,8 %, qui pourrait donc correspondre soit à un certain niveau de contrainte financière objective pour les ménages, suscitant un sentiment de vulnérabilité renforcée, soit à un seuil psychologique dans le consentement à payer des automobilistes. On peut également observer que les taux d'effort suivent les fluctuations des prix des carburants, celles-ci étant trop rapides pour permettre aux ménages de compenser l'augmentation du prix du carburant par la réduction de leur consommation à court terme. Ainsi, d'après nos estimations à partir des données de *ParcAuto*, le taux d'effort en carburant a augmenté de 3,8 à 4,7 % entre 1998 et 2000, avant de redescendre à 3,6 % en 2003, puis de remonter à 4,9 % en 2006, de redescendre à 3,8 % en 2009,

puis de remonter à 4,1 % en 2010⁴⁵. La rationalisation de l'usage de la voiture a donc permis de limiter l'augmentation du taux d'effort à long terme, mais non de lisser ses fluctuations à court terme. Le bénéfice résultant de la mise en œuvre d'une stratégie de rationalisation de l'usage des véhicules peut être évalué en comparant l'évolution du coefficient budgétaire réel à ce qu'il aurait été sous l'hypothèse d'un niveau d'usage de la voiture stabilisé à partir de 2001. Sur l'ensemble de la décennie, l'économie de carburant réalisée représente un gain de 0,46 point au niveau du coefficient budgétaire.

II.2.a.5) Modélisation sur séries temporelles

Spécification du modèle

En partant du constat que l'usage moyen de la voiture croît comme le taux de motorisation à long terme, tout en fluctuant autour de ce *trend* de croissance en fonction du pouvoir d'achat énergétique des ménages, on spécifie un modèle simple de l'usage moyen de la voiture, basé sur le taux de motorisation et le pouvoir d'achat énergétique, que l'on estime sur séries temporelles. Le pouvoir d'achat énergétique représente la quantité de carburant qu'un ménage peut acheter pour un revenu déterminé. L'évolution de cet indice est supposé représenter le principal facteur de variation du niveau moyen d'utilisation des véhicules au cours du temps, un choix qui semble justifié par le constat de stabilité du coefficient budgétaire des dépenses en carburant. Ainsi, la consommation de carburant – et l'utilisation des véhicules, si on raisonne à efficacité énergétique constante – tendront à varier dans le même sens que le pouvoir d'achat énergétique, les ménages ajustant leur consommation de manière à maintenir leur coefficient budgétaire constant. Compte tenu de la spécification du modèle, on estimera une élasticité unique au pouvoir d'achat énergétique, plutôt que des élasticités distinctes pour le revenu et le prix du carburant, un choix qui peut être justifié par le fait qu'il s'agit dans les deux cas de contraintes monétaires, agissant toutes deux sur la capacité des ménages à acheter du carburant (ou des kilomètres). Dans cette spécification, on a choisi un indice basé sur le prix du litre, qui reflète donc un pouvoir d'achat énergétique plutôt que directement un potentiel d'usage des véhicules.

On compare les résultats obtenus à travers l'estimation de trois modèles :

- Le premier d'entre eux est basé uniquement sur le taux de motorisation - défini comme le nombre de voitures par adulte (a);
- Le second intègre, en plus de la motorisation, un indicateur de pouvoir d'achat énergétique (b);

⁴⁵ Les estimations obtenues sont supérieures à celles de la Comptabilité Nationale, qui donne 3,7 % en 2000, 3,1 % en 2003 et 2,9 % en 2009, ce qui peut tenir à des différences méthodologiques. En particulier, les revenus ne sont connus que par tranche dans *ParcAuto* : afin de calculer des taux d'effort, nous avons donc été contraints de tirer aléatoirement les revenus dans une distribution uniforme au sein de chaque tranche. Mais surtout, pour la tranche de revenu supérieure, le revenu a été fixé arbitrairement à la limite inférieure de la tranche, en l'absence de connaissance sur la distribution des revenus au sein de la tranche, ce qui conduit à sous-estimer les revenus et à surestimer le taux d'effort dans la tranche supérieure. Or, un faible nombre de ménages avec des revenus exceptionnellement élevés peuvent avoir un effet substantiel sur le taux d'effort moyen. Les taux d'effort sont donc sans doute à prendre avec davantage de précaution pour le quartile supérieur.

Encadré 2 : sensibilité au prix à la pompe et au coût d'usage des véhicules

Toutefois, le coût d'usage des véhicules dépend à la fois du pouvoir d'achat en carburant et de l'efficacité énergétique des véhicules, qui tend à augmenter au fil du temps sous l'impulsion de l'augmentation des prix des carburants, notamment en raison de la transition d'une proportion croissante des ménages vers les motorisations *diesel*. Par conséquent, aussi bien le pouvoir d'achat que l'efficacité énergétique évoluent de concert, sous l'impulsion des augmentations de prix des carburants. Des prix élevés constituent en effet une incitation simultanée pour les ménages à réduire leur usage de la voiture et/ou à évoluer vers des motorisations moins consommatrices. Un accroissement de l'efficacité énergétique présente toutefois l'avantage de leur permettre de limiter les baisses de mobilité résultant de prix plus élevés. Certains modèles prennent explicitement en compte le lien entre évolution de l'efficacité énergétique et prix des carburants, tels que dans *Graham et Glaister (2004)* ou encore, pour les recherches sur les données françaises, *Kemel et al. (2010)*, et en déduisent une élasticité de l'efficacité énergétique des véhicules par rapport au prix du carburant, qui permet d'expliquer l'écart entre les élasticités de l'usage des véhicules, respectivement par rapport au pouvoir d'achat kilométrique et par rapport au pouvoir d'achat énergétique. En effet, l'élasticité de l'usage des véhicules par rapport au pouvoir d'achat énergétique est inférieure à l'élasticité de l'usage des véhicules par rapport au prix kilométrique, car les effets de la hausse du prix du carburant sont partiellement compensés par l'accroissement de l'efficacité énergétique qui en découle à long terme.

En effet, supposons que l'usage des véhicules soit de la forme :

$$U = \tau P^\alpha \text{ avec } P = QE \text{ et } E = \beta Q^{-\gamma}$$

Dans ces formules, U représente l'usage de la voiture, P le pouvoir d'achat kilométrique, Q le pouvoir d'achat énergétique et E l'efficacité énergétique. τ , α et γ sont des paramètres. La première relation traduit le fait que l'usage de la voiture augmente avec le pouvoir d'achat kilométrique, le coefficient $\alpha < 1$ traduisant la décroissance tendancielle de l'utilité marginale des usages supplémentaires avec le niveau d'usage déjà atteint. La seconde relation exprime le lien entre pouvoir d'achat kilométrique et pouvoir d'achat énergétique, le premier étant égal au second multiplié par l'efficacité énergétique. Enfin, la troisième relation indique que l'efficacité énergétique des véhicules décroît avec le pouvoir d'achat énergétique, les augmentations de prix des carburants constituant une incitation à moderniser les véhicules de manière à en amortir l'impact, tandis qu'à l'inverse, un desserrement de la contrainte financière n'incite pas à la recherche d'économies de carburant.

En combinant les deux premières relations, on obtient :

$$U = \tau Q^\alpha E^\alpha, \text{ puis en combinant cette relation avec la troisième :}$$

$$U = \tau \beta^\alpha Q^{\alpha(1-\gamma)} \text{ ou de manière équivalente } U = \tau \frac{\beta^\alpha}{\gamma} E^{\alpha(1-\frac{1}{\gamma})}$$

L'élasticité de l'usage de la voiture par rapport au pouvoir d'achat kilométrique s'obtient par :

$$\frac{\eta_U}{P} = \frac{\partial U}{\partial P} \cdot \frac{P}{U} = \tau \alpha P^{\alpha-1} \frac{P}{\tau P^\alpha} = \alpha$$

De même, l'élasticité de l'usage de la voiture par rapport au pouvoir d'achat énergétique s'obtient par :

$$\frac{\eta_U}{Q} = \frac{\partial U}{\partial Q} * \frac{Q}{U} = \tau \beta^\alpha \alpha (1 - \gamma) Q^{\alpha(1-\gamma)-1} * \frac{Q}{\tau \beta^\alpha Q^{\alpha(1-\gamma)}} = \alpha(1 - \gamma)$$

Enfin, l'élasticité de l'efficacité énergétique par rapport au pouvoir d'achat énergétique s'obtient par :

$$\frac{\eta_E}{Q} = \frac{\partial E}{\partial Q} * \frac{Q}{E} = \frac{-\gamma \beta Q^{-\gamma-1} Q}{\beta Q^{-\gamma}} = -\gamma$$

Par conséquent, on peut aussi écrire :

$$\frac{\eta_U}{Q} = \frac{\eta_U}{P} + \alpha \frac{\eta_E}{Q} = \frac{\eta_U}{P} (1 + \frac{\eta_E}{Q})$$

Le dernier terme $\frac{\eta_E}{Q}$ étant négatif, il apparaît clairement que l'élasticité de l'usage des véhicules par rapport au pouvoir d'achat énergétique est inférieure à son élasticité par rapport au pouvoir d'achat kilométrique, l'accroissement de l'efficacité énergétique suscité par l'augmentation des prix tendant à amortir l'effet net de l'augmentation des prix sur l'usage des véhicules.

Dans cette spécification, on suppose donc que le renouvellement de la flotte de véhicules des ménages par l'achat de véhicules plus efficaces, est essentiellement suscité par l'augmentation des prix des carburants, qui représentent tout à la fois une incitation pour les constructeurs à développer des véhicules plus sobres en énergie, et pour les automobilistes à acquérir des véhicules plus économes. Toutefois, on pourrait également supposer que ce processus est dans une large mesure indépendant de l'évolution des prix. En effet, les constructeurs ont intégré la nécessité de développer des motorisations plus économes depuis les premiers chocs pétroliers dans les années 1970, et la recherche de sobriété constitue désormais un effort permanent, indépendamment des fluctuations des prix de l'énergie. De la même manière, on pourrait soutenir que le critère de consommation de carburant est pris en compte de manière assez systématique par les ménages au moment de l'achat de nouveaux véhicules, ces derniers étant sensibles à la possibilité de réaliser des économies, indépendamment des fluctuations des prix de l'énergie. D'un autre côté, il est également probable que leur degré de sensibilité au critère de consommation tende à être variable selon le niveau de contrainte énergétique.

Il est assez logique de supposer que le niveau d'usage des véhicules est déterminé avant tout par le pouvoir d'achat kilométrique, plutôt que directement par le prix du carburant. Toutefois, sur le plan causal, le prix du carburant est bien le facteur déterminant de l'évolution du pouvoir d'achat énergétique d'une part, et de l'efficacité énergétique des véhicules d'autre part, dont découle l'évolution du pouvoir d'achat kilométrique et, *in fine*, de l'usage des véhicules. L'estimation d'une élasticité de l'usage des véhicules au prix du carburant – ou de façon alternative, au pouvoir d'achat énergétique – plutôt qu'au prix kilométrique, se justifie donc davantage du point de vue de la compréhension des causes, qui représente un processus d'adaptation des ménages à long terme de manière à limiter l'augmentation du budget associé aux dépenses en carburant. La mesure d'une sensibilité au prix kilométrique tend en effet à masquer une partie de la chaîne causale, dans la mesure où le prix kilométrique endogénéise l'accroissement de l'efficacité énergétique, qui est au moins pour partie une réaction à l'augmentation du prix du carburant.

- La troisième spécification est dynamique, et inclut une variable dépendante retardée, qui permet de tester l'existence d'un délai dans l'adaptation des ménages à l'évolution conjointe de leur taux de motorisation et de leur pouvoir d'achat énergétique ©.

Les spécifications correspondantes sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \log U_t &= \beta_0 + \beta_M \log M_t + \varepsilon_t \text{ (a)} \\ \log U_t &= \beta_0 + \beta_M \log M_t + \beta_{PE} \log PE_t + \varepsilon_t \text{ (b)} \\ \log U_t &= \theta \beta_0 + (1 - \theta) \log U_{t-1} + \theta \beta_M \log M_t + \theta \beta_{PE} \log PE_t + \theta \varepsilon_{t-1} \text{ ©} \end{aligned}$$

Dans ces expressions, $\beta_0, \beta_M, \beta_{PE}$ et θ sont des paramètres et ε_t représente la perturbation du modèle. U_t, M_t et PE_t représentent respectivement l'usage moyen de la voiture par adulte, le taux de motorisation des adultes et le pouvoir d'achat énergétique moyen à l'instant t . Le paramètre θ est appelé paramètre d'ajustement partiel, et la formulation du modèle dynamique dérive de la combinaison des deux relations suivantes :

$$\begin{aligned} \log U_t - \log U_{t-1} &= \theta (\log U_{t-1}^* - \log U_{t-1}) \\ \log U_{t-1}^* &= \beta_0 + \beta_M \log M_{t-1} + \beta_{PE} \log PE_{t-1} + \varepsilon_{t-1} \end{aligned}$$

Dans ces formules, $\log U_{t-1}^*$ représente l'usage désiré à l'instant $t-1$. La seconde relation traduit que le niveau d'usage souhaité est une fonction des caractéristiques des ménages, en particulier de leur taux de motorisation et de leur pouvoir d'achat énergétique. La première relation exprime la vitesse de convergence de la demande réelle vers la demande souhaitée, à savoir qu'entre $t-1$ et t , le ménage cherche à atténuer l'écart entre son niveau d'usage de la voiture effectif et son niveau d'usage souhaité. Le paramètre θ exprime donc le taux d'ajustement annuel de la demande effective par rapport à la demande souhaitée. Par exemple, une valeur $\theta = 0.3$ indique que 30 % de l'écart entre l'usage effectif et l'usage souhaité est rattrapé en l'espace d'une année. Le paramètre θ peut aussi être interprété comme le rapport entre élasticités de court terme et de long terme.

Dans la mesure où tant la variable dépendante que les variables exogènes ont une formulation logarithmique, les paramètres β_M et β_{PE} peuvent être directement interprétés comme des élasticités, respectivement par rapport à la motorisation et au pouvoir d'achat énergétique.

De manière à améliorer la robustesse et la crédibilité des prévisions obtenues avec le modèle, ce dernier est estimé sur une période restreinte (1974 - 95), précédant le plafonnement de l'usage de la voiture, puis utilisé pour prédire l'évolution de l'usage de la voiture sur la période ultérieure, qui s'étend de 1995 à 2010. Des estimations sont produites pour différentes séries, par type de zone de résidence et quartile de niveau de vie. Les trois types de zones de résidence considérés sont les villes-centres, les banlieues et les espaces d'urbanisation diffuse, incluant les zones périurbaines et les communes rurales.

Estimation

Les estimations des paramètres sont fournies dans la table ci-dessous, avec les coefficients d'ajustement du R^2 relatifs à chaque modèle. On peut observer que le modèle (a), basé seulement sur le taux de motorisation, constitue déjà un très bon prédicteur de l'usage moyen de la voiture pour l'ensemble des zones et des niveaux de vie, avec un R^2 supérieur à 0.9 dans tous les cas. Toutefois, la qualité d'ajustement du modèle est meilleure dans les zones de faible densité et pour

les niveaux de vie intermédiaires, avec des coefficients d'ajustement autour de 0.96 à 0.97. Les couches moyennes étant fréquemment situées dans les espaces périurbains, ces résultats semblent indiquer qu'au sein des zones de faible densité, l'évolution du trafic moyen par adulte est essentiellement déterminée par celle du taux de motorisation des adultes, tandis que d'autres facteurs entrent en ligne de compte pour les habitants des agglomérations.

	Villes-centres	Banlieues	Zones d'urbanisation diffuse	1 ^{er} quartile	2 nd quartile	3 ^{ème} quartile	4 ^{ème} quartile	Tous
Motorisation seule								
R2	0.92	0.91	0.97	0.93	0.97	0.96	0.92	0.97
βM	0.98	0.95	1.25	1.15	1.20	1.06	1.11	1.09
Motorisation et pouvoir d'achat énergétique, modèle statique								
R2	0.96	0.93	0.99	0.96	0.98	0.98	0.95	0.99
βM	0.74	0.84	0.94	0.96	1.01	0.82	0.87	0.90
βPE	0.31	0.19	0.40	0.41	0.25	0.31	0.30	0.29
Motorisation et pouvoir d'achat énergétique, avec variable dépendante retardée								
R2	0.96	0.94	0.99	0.95	0.99	0.98	0.97	0.99
θ	0.56	0.42	0.70	0.57	0.63	0.80	0.24	0.32
βM	0.70	0.70	0.97	0.89	1.03	0.84	0.65	0.75
βPE	0.36	0.37	0.37	0.45	0.23	0.31	0.63	0.36

Tableau 1 : Qualité d'ajustement et estimation des paramètres par quartile de revenu et zone de résidence, estimation sur la période 1974-95

Source : Enquêtes Conjoncture auprès des ménages (1974-1992) et Enquêtes ParcAuto (1993-1995)

Observons que les élasticités du trafic par adulte par rapport au taux d'équipement sont proches de 1 dans le premier modèle, confirmant qu'à long terme, le trafic moyen par adulte augmente peu ou prou comme le taux de motorisation des adultes. Elles sont toutefois plus élevées pour les espaces d'urbanisation diffuse, ainsi que pour les ménages à bas revenus, pour lesquels la croissance du kilométrage moyen par adulte est plus rapide que celle du nombre de voitures par adulte. L'utilisation moyenne des véhicules n'y est donc pas stationnaire mais tend à augmenter légèrement au fil du temps.

La prise en compte du pouvoir d'achat énergétique - modèle (b) - améliore la qualité d'ajustement du modèle pour chaque zone de résidence et chaque quartile de revenu. Les valeurs des élasticités au revenu sont nettement inférieures à 1, ce qui confirme que l'utilisation de la voiture peut être considérée comme un service de première nécessité⁴⁶. Toutefois, des améliorations plus importantes du coefficient d'ajustement sont obtenues pour les habitants des villes-centres et les ménages appartenant aux quartiles extrêmes. Cependant, les écarts observés au niveau des élasticités de court terme s'expliquent en partie par les vitesses d'ajustement de la demande, qui sont hétérogènes d'une zone et d'un quartile à l'autre. Par exemple, le rythme d'ajustement de la demande est nettement plus rapide chez les résidents des zones périurbaines et rurales qu'au sein des agglomérations, s'élevant à 70 % en une année dans les zones d'urbanisation diffuse, contre

⁴⁶ Au regard de la distinction entre biens supérieurs, biens intermédiaires et biens de première nécessité qui découle de la courbe d'Engel (cf. section II.1.a). Les biens supérieurs, en effet, sont caractérisés par une augmentation de leur coefficient budgétaire à mesure que le revenu augmente, leur consommation n'étant pas limitée par nature, ce qui est équivalent à dire que leur élasticité par rapport au revenu est supérieure à 1, alors qu'à l'inverse, le coefficient budgétaire associé à la consommation de biens inférieurs décroît avec le revenu, en raison de la baisse de l'utilité marginale des consommations supplémentaires, ce qui équivaut à dire que leur élasticité par rapport au revenu est inférieure à 1.

42 % pour les résidents des banlieues et 56 % pour les résidents des villes-centres. Cependant, à long terme, l'élasticité de l'usage de la voiture par rapport au pouvoir d'achat énergétique est indépendante de la zone de résidence, et peut être estimée à environ + 0,37, un résultat qui avait déjà été relevé par *Calvet et Marical (2011)*. Les ménages semblent donc réagir de la même manière à l'évolution de leur pouvoir d'achat énergétique à long terme, mais avec une vitesse d'ajustement variable selon leur niveau de dépendance automobile. Dans les espaces d'urbanisation diffuse, ce rythme d'ajustement est très rapide.

La plus grande réactivité des ménages résidant au sein des zones peu denses peut sans doute s'expliquer de plusieurs manières. D'une part, ces ménages font un usage quotidien ou presque de la voiture, avec laquelle ils parcourent des distances très élevées, de sorte qu'ils sont sans doute plus attentifs à l'évolution des prix des carburants, dont ils sont dépendants au quotidien pour leur mobilité, et qui entraîne des répercussions immédiates sur leurs budgets. A l'inverse, les résidents des zones denses, ayant parfois un usage plus occasionnel de la voiture ou des pratiques plus multimodales, et parcourant globalement des distances plus faibles, sont susceptibles d'y être moins attentifs et de ne pas percevoir tout de suite les fluctuations des prix ou du moins de ne pas y accorder une grande importance, compte tenu de répercussions budgétaires limitées.

La formulation du modèle implique que le niveau d'usage souhaité varie dans le même sens que le pouvoir d'achat énergétique. Toutefois, le rythme de convergence vers le niveau d'usage souhaité dépend sans doute à la fois du degré de nécessité ou d'urgence à atteindre cet objectif – ou si l'on préfère, du niveau de besoin – et de la capacité à atteindre cet objectif, qui peut être entravée par divers facteurs. Pour interpréter la variabilité du rythme d'ajustement selon la zone de résidence et le niveau de vie, il convient également de prendre en compte le sens des variations du pouvoir d'achat énergétique. Avant la seconde moitié des années 1990 – la période sur laquelle est estimé le modèle – ces variations sont essentiellement des progressions de pouvoir d'achat. Les valeurs obtenues pour le paramètre d'ajustement dans les différentes zones de résidence indiquent donc que le degré de nécessité à converger rapidement vers le niveau d'usage souhaité est plus élevé dans les espaces d'urbanisation diffuse que dans les agglomérations, dans un contexte général de progression du pouvoir d'achat. En effet, la pression exercée par l'évolution des besoins y est plus importante, compte tenu d'une dépendance automobile plus élevée.

A l'inverse, dans un contexte de baisse du pouvoir d'achat énergétique, on peut supposer que les ménages résidant au sein des zones périurbaines, tout en ressentant peut-être plus fortement que ceux des agglomérations la nécessité de réduire leur niveau d'usage de la voiture – compte tenu d'un coefficient budgétaire plus élevé – disposent de moins de marges de manœuvre que ceux qui résident dans les agglomérations pour y parvenir rapidement, en raison d'une forte proportion de déplacements contraints et en l'absence d'alternatives. On peut donc supposer qu'une situation de dépendance automobile induit une asymétrie dans le processus d'ajustement des ménages selon leur degré de dépendance automobile, avec une plus forte propension des résidents des zones peu denses à augmenter leur niveau d'usage de la voiture en cas de progression du pouvoir d'achat, et une plus grande difficulté à le réduire en cas de baisse du pouvoir d'achat⁴⁷.

⁴⁷ La mise en évidence de cette asymétrie nécessiterait des analyses plus poussées. *Dargay (2001)* a montré qu'on pouvait introduire des effets asymétriques avec des adaptations *a minima* du modèle d'ajustement partiel. Il convient dans ce cas d'utiliser comme régresseurs, non plus les variations annuelles des variables exogènes, mais leurs augmentations et leurs baisses cumulées.

Par ailleurs, on observe que la vitesse d'ajustement est plus faible dans le quartile supérieur. Ainsi, moins d'un quart de la différence entre la demande effective et la demande souhaitée est comblé en l'espace d'une année. C'est donc pour les ménages à hauts revenus qu'on obtient les meilleures améliorations de la qualité d'ajustement du modèle par l'introduction d'une variable retardée. Une vitesse d'ajustement plus faible chez les ménages du quartile supérieur peut s'expliquer en partie par un effet de localisation, ces derniers résidant plus souvent au sein des zones densément urbanisées, où le besoin d'usage de la voiture est moins pressant, tandis qu'à l'inverse, les ménages appartenant aux quartiles intermédiaires, dont les rythmes d'ajustement sont très élevés - respectivement + 0,63 et + 0,80 pour les ménages des 2^e et 3^e quartiles - vivent plus souvent dans les espaces périurbains et ruraux, dépendants de la voiture. La lenteur des ajustements chez les ménages à hauts revenus pourrait également traduire la proximité de la saturation : en effet, l'essentiel des besoins d'usage de la voiture étant satisfaits, les usages supplémentaires présentent un caractère superflu, correspondant surtout à des usages de loisirs et de vacances.

Mais en même temps, l'élasticité à long terme de l'usage moyen de la voiture au pouvoir d'achat énergétique est plus élevée dans le quartile supérieur que dans les autres groupes de revenus, étant estimée à + 0,63. Les ménages à hauts revenus présentent donc une forte capacité d'ajustement à long terme, les augmentations de pouvoir d'achat énergétique entraînant au final des augmentations plus importantes de l'usage de la voiture que chez les autres ménages.

En fin de compte, le kilométrage par adulte est le plus étroitement lié au taux de motorisation dans les groupes de population pour lesquels les besoins sont les plus importants, et les niveaux d'usage encore éloignés de la saturation, à savoir les résidents des espaces périurbains et ruraux et les ménages des quartiles intermédiaires⁴⁸. Par ailleurs, le rythme d'ajustement de l'usage réel de la voiture par rapport à l'usage souhaité est nettement plus rapide pour ces mêmes groupes. A l'inverse, le pouvoir d'achat énergétique joue un rôle plus important pour les ménages les plus aisés, dont le niveau d'usage de la voiture est proche de la saturation, et comporte une proportion élevée de déplacements discrétionnaires. Ces ménages manifestent une capacité importante à modifier leur niveau d'usage de la voiture à long terme, mais y apparaissent peu sensibles à court terme. Les ménages les plus modestes s'avèrent également sensibles à la variation de leur pouvoir d'achat énergétique, avec un rythme d'ajustement de l'usage de la voiture intermédiaire entre celui des classes moyennes et des plus aisés. On peut supposer que les ménages les plus pauvres ressentent une plus forte pression budgétaire en cas d'augmentation des prix des carburants ou de baisse de leurs revenus. Toutefois, ils résident aussi plus souvent dans les banlieues proches, généralement mieux desservies par les transports en commun, de sorte que la nécessité d'un renforcement de l'usage de la voiture y est moins prononcée.

Compte tenu d'une réaction plus rapide des ménages résidents des espaces captifs de l'automobile, les élasticités de court terme et de long terme y sont proches, alors qu'à l'inverse, chez les habitants des agglomérations, les élasticités de long terme sont nettement supérieures aux élasticités de court terme. A long terme, les ajustements des ménages résidant au sein des différentes zones sont néanmoins équivalents, et semblent dictés par une stratégie de maîtrise du coefficient budgétaire. Toutefois, ainsi que l'observent *Calvet et Marical (2011)*, on ignore dans quelle mesure ces réductions sont obtenues par le moyen de sacrifices plus ou moins douloureux

⁴⁸ Pour la période d'estimation du modèle (1977-94). A l'heure actuelle, les taux de motorisation dans les classes moyennes sont sans doute nettement plus proches de la saturation.

des ménages sur leur mobilité, et quelles sont donc les répercussions sociales des augmentations de prix des carburants⁴⁹.

Prévision

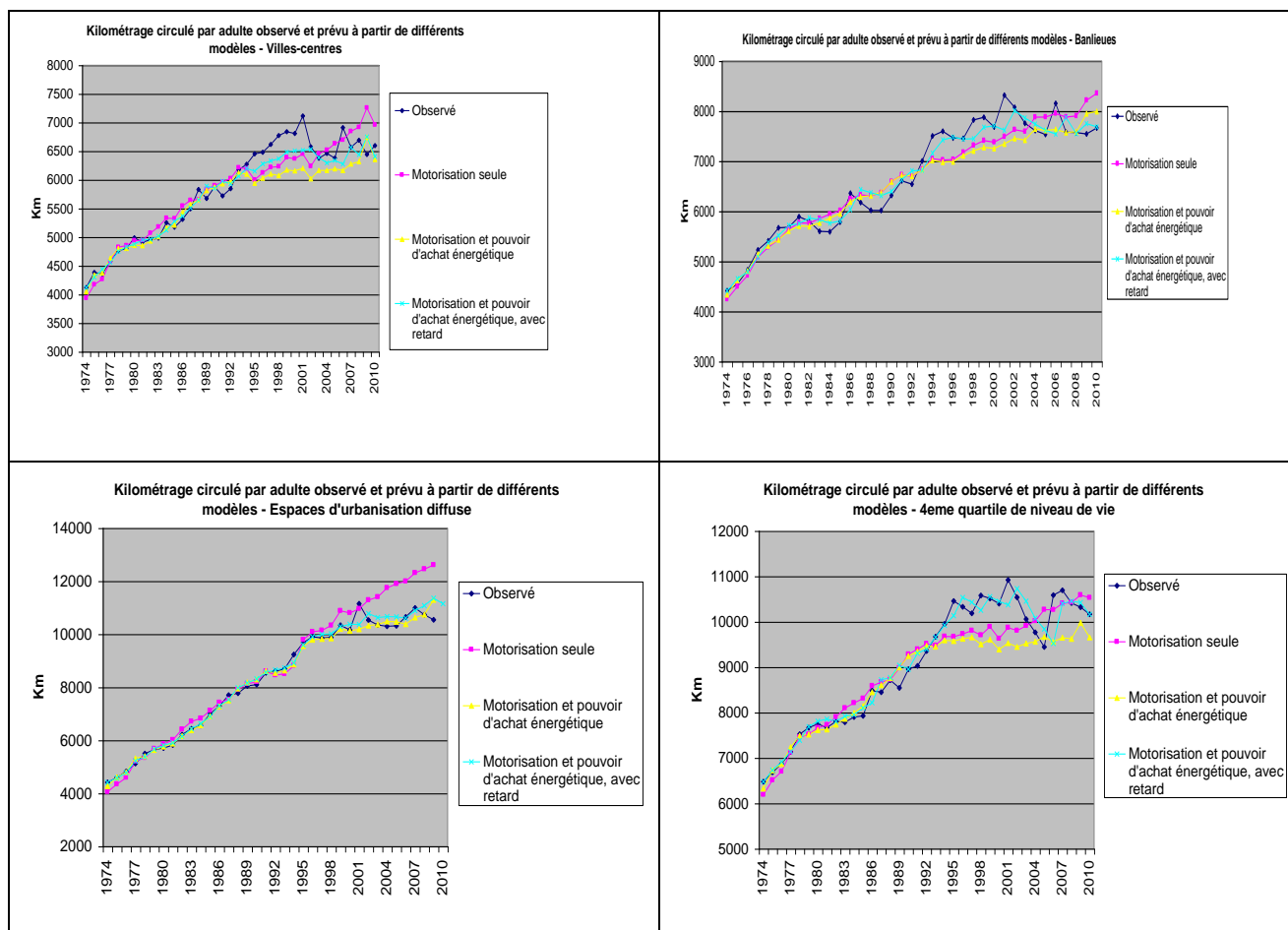
Après avoir été estimés, les modèles sont utilisés en vue de prévoir les niveaux d'usage de la voiture pour l'ensemble de la période d'observation qui s'étend de 1974 à 2010, en particulier en vue de tester la possibilité de reconstituer les niveaux d'usage de la voiture pendant la période 1995-2010, caractérisée par des prix du carburant en forte augmentation et correspondant au plafonnement du kilométrage moyen par adulte. Les résultats de la simulation sont décrits dans la figure ci-dessous pour l'ensemble des zones et pour le quartile supérieur de revenu.

Le modèle basé sur la motorisation seule parvient assez bien à rendre compte des tendances de long terme jusqu'en 1994. Une première inflexion de tendance dans l'augmentation du kilométrage moyen par adulte peut être mise en évidence entre la fin des années 1970 et le début des années 1980 dans les zones urbaines, qui peut être attribuée à un ralentissement de la croissance du taux de motorisation. Les prévisions sont excellentes dans les zones d'urbanisation diffuse, où la croissance de l'usage moyen de la voiture est presque linéaire, et relativement insensible aux fluctuations des prix du carburant au cours de cette période, résultant à la fois des chocs pétroliers des années 1970 et du contre-choc pétrolier à partir du milieu des années 1980. Ensuite, à partir du milieu des années 1990 jusqu'au début des années 2000, les prévisions demeurent assez bonnes dans les zones d'urbanisation diffuse, où le ralentissement de l'usage de la voiture à partir du milieu des années 1990 peut s'expliquer par un ralentissement temporaire dans la croissance du taux de motorisation. Au contraire, pour les résidents des agglomérations, le kilométrage moyen par adulte augmente plus vite que prévu pendant cette période, en particulier pour les habitants des villes-centres, en dépit d'un net ralentissement dans la croissance du taux de motorisation. Toutefois, c'est surtout à partir des années 2000 qu'on observe un net découplage entre l'usage moyen de la voiture par adulte, qui plafonne, et le taux de motorisation, qui poursuit sa croissance, et cela dans toutes les zones. Par construction, ce modèle ne permet évidemment pas de reproduire les variations de l'usage de la voiture antérieures au milieu des années 1990, causées par les fluctuations des prix des carburants – fluctuations dont l'amplitude est plus importante dans les agglomérations que dans les zones diffuses - ni n'explique la rupture de tendance des années 2000.

Au contraire, le modèle avec prise en compte le pouvoir d'achat énergétique – sans variable retardée à ce stade – permet d'anticiper le ralentissement de l'usage de la voiture pour chacune des zones de résidence, avec des temporalités différentes. Les prévisions obtenues deviennent presque parfaites pour les zones d'urbanisation diffuse, avec une date de rupture correspondant parfaitement à ce qui est observé, et une coïncidence presque parfaite du kilométrage par adulte simulé avec le kilométrage par adulte observé à chaque instant. Par conséquent, il est loisible d'interpréter la rupture des années 2000, au moins dans les espaces peu denses, comme une réaction de caractère habituel à un pouvoir d'achat énergétique dégradé. Cependant, ce modèle ne permet pas de rendre compte de la baisse du kilométrage annuel moyen par adulte dans les espaces d'urbanisation diffuse à partir de 2008 (*Cornut et al., 2014 ; Madre et al., 2015*). Selon le modèle, il reprend sa croissance à partir de 2007, et augmente fortement en 2009 suite à la forte baisse des prix des carburants enregistrée cette année. Dans les villes-centres, le modèle prévoit un ralentissement de la croissance de l'usage moyen de la voiture par adulte à partir de 1993, tandis que les observations indiquent plutôt une rupture nette de tendance à partir de 2001 : il

⁴⁹ Cette question sera discutée dans la section II.2.d.

semble donc que les comportements n'y aient pas changé au fil de l'eau en réponse à l'augmentation progressive des prix des carburants, mais plutôt à la suite du pic de l'an 2000, qui doit avoir représenté une sorte de seuil psychologique pour les ménages. La même chose peut être observée pour l'usage moyen de la voiture chez les habitants des banlieues.



Graphique 20 : Usage moyen de la voiture réel et simulé par les modèles (a), (b) et (c)

L'introduction d'une variable retardée ne modifie pas sensiblement les prévisions pour les zones d'urbanisation diffuse, un résultat cohérent avec nos premières analyses qui ont montré le rythme d'ajustement très rapide de la demande dans ces espaces. Cependant, le modèle avec retard traduit un peu mieux les fluctuations de l'usage de la voiture dans les espaces peu denses, avec toutefois un retard d'un an environ par rapport à la réalité à partir des années 2000. Ainsi, selon le modèle, l'usage moyen de la voiture par adulte atteint un maximum en 2002, au lieu de 2001 dans la réalité, puis recule en 2003, au lieu de 2002 observé. De même, il anticipe bien le maximum d'usage de la voiture dans les espaces d'urbanisation diffuse, avec un déclin ultérieur, mais le situe en 2009 au lieu de 2008 observé. Cependant, le modèle reproduit bien les fluctuations de l'usage de la voiture jusqu'en l'an 2000. Ces résultats suggèrent que les comportements des ménages prennent bien la forme d'une réaction différée à l'augmentation des prix des carburants, s'étalant dans le temps et consistant pour partie d'ajustements à court terme et pour partie d'adaptations à long terme. En outre, le retard des prévisions sur la réalité, qui est observable seulement à partir des années 2000, suggère que les ménages seraient devenus plus réactifs aux fluctuations des prix des carburants que par le passé, en s'y adaptant désormais plus rapidement, ce qui implique aussi que l'écart entre sensibilité à court terme et à long terme aurait diminué.

Pour les habitants des villes-centres, les prévisions sont significativement améliorées par la prise en compte d'un ajustement progressif, du moins pour la période à partir du milieu des années

1990, et deviennent presque parfaites à partir de 2002, la date d'inflexion simulée correspondant presque trait pour trait à la réalité. L'amélioration la plus sensible apportée par la prise en compte d'une réponse progressive concerne les prévisions pour les banlieues, où l'évolution de l'usage moyen de la voiture est à présent très bien décrit à partir du milieu des années 1990, avec d'abord une période de ralentissement suivie d'un léger déclin à partir de 2002.

Pour finir, on considère les prévisions relatives aux ménages à hauts revenus, qui projettent un éclairage intéressant sur les phénomènes de saturation. En effet, la rupture de tendance survient plus tôt pour ce groupe de population, à partir de 1995. Depuis lors, l'usage de la voiture a connu des fluctuations importantes. Le modèle basé sur la motorisation seule permet déjà d'anticiper correctement la stagnation de l'usage de la voiture à partir du milieu des années 1990, illustrant la saturation du taux de motorisation individuel dans le quartile supérieur. Les prévisions ne sont pas fortement améliorées par la prise en compte du pouvoir d'achat énergétique, mais le sont en revanche significativement par l'introduction d'une réponse progressive, qui permet de décrire presque parfaitement la période qui commence à partir du milieu des années 1990.

L'impact d'une réponse progressive sur la qualité d'ajustement du modèle est cohérent avec ce qu'on observait précédemment pour les vitesses d'ajustement dans les différentes zones et pour les différents niveaux de revenu. Ainsi, là où les ajustements sont très rapides, comme dans les zones périurbaines et rurales, l'introduction d'un retard n'améliore pas significativement les prévisions. A l'inverse, là où les ajustements sont lents, comme pour les ménages du quartile supérieur, la prise en compte d'une réponse progressive améliore significativement la qualité d'ajustement du modèle.

Au vu de ces résultats, l'hypothèse selon laquelle le plafonnement de l'usage de la voiture constituerait une réaction différée de caractère habituel à une augmentation des prix des carburants présentant un caractère exceptionnel, semble tout à fait pertinente. Cette réaction, quasi-immédiate dans les zones d'urbanisation diffuse, est progressive dans les agglomérations. Ce ralentissement est amplifié par des tendances à la saturation du taux de motorisation chez les résidents des villes-centres et parmi les ménages à hauts revenus.

II.2.a.6) Une transition dans les comportements ou une réaction de caractère habituel à une hausse exceptionnelle ?

L'analyse précédente, basée sur l'étude de séries longues depuis le milieu des années 1970, suggère donc que le plafonnement de l'usage de la voiture constitue une réaction de caractère habituel à une augmentation exceptionnelle des prix, et ne nécessite donc pas le recours à l'hypothèse d'une rupture dans les comportements de mobilité. Les évolutions récentes, au contraire, s'inscriraient parfaitement dans la continuité des fluctuations de l'usage des véhicules observées depuis le premier choc pétrolier. Selon cette analyse, la baisse actuelle du kilométrage moyen par véhicule ne serait pas d'une nature fondamentalement différente de celles qui ont déjà été observées au cours des précédents chocs et contre-chocs pétroliers. Une analyse similaire menée par le Département des Transports britannique (*DfT, 2013*) à partir du modèle national, a également montré que le ralentissement du trafic automobile au Royaume-Uni pendant les années 2000 pouvait être anticipé à partir du modèle national, basé principalement sur la projection du taux de motorisation, de la croissance économique et démographique, des revenus et des prix des carburants, le décalage entre les prévisions antérieures et l'évolution réelle du trafic étant expliqué par l'inadéquation des scénarios, plutôt que par le modèle lui-même.

Selon cette grille de lecture, le plafonnement de l'usage de la voiture ne constituerait pas nécessairement le signe annonciateur d'un déclin irréversible – l'hypothèse du « *peak car* » suggérée par *Goodwin (2010-11)* - mais plutôt une période temporaire de baisse de l'usage des véhicules, s'inscrivant dans un cycle rythmé par l'évolution des prix de l'énergie. Le caractère inachevé de la diffusion de l'automobile – en particulier du second, voire du troisième véhicule au sein des ménages – permettrait donc de s'attendre à une reprise de la croissance du trafic en cas de retour *durable* à des conditions économiques favorables.

Toutefois, on remarque que le plafonnement de l'usage de la voiture coïncide exactement avec l'année 2000, caractérisée par une très forte hausse du prix du carburant, qui est susceptible d'avoir suscité un « choc psychologique », entraînant une rupture dans les comportements des ménages, prenant la forme d'une volonté durable de rationalisation de l'usage des véhicules, qui se traduirait par l'intégration d'une contrainte de maîtrise du kilométrage total parcouru par le ménage avec l'ensemble de ses véhicules. Les ménages semblent d'ailleurs réagir de la même manière après 2006, année où on observe un nouveau pic du prix du carburant. Dans l'ensemble, les ménages semblent donc réagir de manière plus marquée à des hausses particulièrement importantes et rapides des prix.

On pourrait donc aussi soutenir l'hypothèse selon laquelle, en dépit d'un *trend* déjà légèrement haussier, les ménages étaient relativement peu sensibles à l'évolution du prix du carburant jusqu'en 1999, avant que la forte hausse de l'an 2000 ne déclenche une prise de conscience plus aigüe, avec peut-être le franchissement d'un seuil d'acceptabilité dans le consentement à payer. En effet, la réduction de l'usage des véhicules qui commence à partir de l'an 2000 se poursuivra ensuite pendant plusieurs années, en dépit de la baisse continue des prix entre 2000 et 2003. La manière dont les ménages traitent l'information sur les prix ne semble donc pas parfaitement linéaire, mais traduit sans doute aussi des effets de seuil, qui pourraient correspondre à des aspects psychologiques plus complexes des comportements⁵⁰. A partir de l'an 2000, le signal transmis par ce choc aurait ainsi eu un effet dominant sur le « bruit » des réactions au fil de l'eau aux fluctuations des prix, auxquelles il se superposerait. Ce résultat de sensibilité à la volatilité des prix des carburants et non seulement à leurs niveaux, est souligné par exemple par *Collet et al. (2010)*. Outre une tendance globale à la rationalisation de long terme des comportements, l'effet de choc pourrait également avoir suscité une plus grande attention aux prix que par le passé.

Les deux hypothèses – effet de choc et réaction progressive aux évolutions des prix de l'énergie – sont donc également acceptables, et pas nécessairement contradictoires dans la mesure où elles s'inscrivent dans une temporalité différente. L'hypothèse d'une adaptation de caractère habituel et différé à des augmentations particulièrement importantes des prix des carburants depuis la fin des années 1990 est recevable si on replace l'analyse dans le cadre d'une perspective longue (depuis les années 70), tandis que celle d'un effet de choc s'inscrirait plutôt dans une perspective de moyen terme, dans la mesure où les augmentations de prix des carburants étaient jusque-là beaucoup plus modérées.

⁵⁰ Il serait intéressant, à cet égard, de pouvoir comparer leurs réactions actuelles avec la manière dont ils avaient réagi aux premiers chocs pétroliers des années 1970, ce qui supposerait toutefois de pouvoir reconstituer des séries annuelles de kilométrages parcourus antérieures aux années 1970, dont on ne dispose pas à l'heure actuelle, le panel *ParcAuto* n'ayant été créé qu'en 1976.

Il est certain que les ménages réagissent au fil de l'eau aux fluctuations des prix des carburants. Toutefois, si une tendance claire ne se dégage pas de ces variations – par exemple, dans le cas de fluctuations aléatoires autour de prix stationnaires – il est peu probable que les ménages envisagent de modifier leurs comportements au-delà de simples ajustements à la marge. À l'inverse, si l'information transmise par le signal-prix est consolidée par le moyen d'une hausse de plusieurs années consécutives, les ménages prendront en compte une information de hausse durable des prix et tendront à modifier leur comportement en conséquence, en mettant en œuvre une stratégie à long terme. Mais dans le cas d'une très forte hausse en l'espace d'une année, on peut supposer qu'une dimension émotionnelle se superpose à la composante rationnelle des comportements. Le caractère soudain de la modification du comportement des ménages après l'an 2000 suggère l'existence d'un tel « effet de choc » se superposant aux deux dimensions décrites précédemment, à savoir des ajustements au fil de l'eau et la mise en œuvre de stratégies d'adaptations à long terme lorsque les ménages sont en présence de tendances consolidées.

L'alternative entre effet de choc et réaction à long terme « habituelle » est donc « indécidable », dans le sens où les deux interprétations s'accordent avec la réalité, mais la décrivent selon une perspective temporelle différente. La réalité est probablement celle d'adaptations à long terme dont la logique ne change pas fondamentalement au cours du temps, et semble consister dans une volonté de conservation du taux d'effort budgétaire, dans la mesure où toute augmentation du taux d'effort implique des sacrifices sur les autres postes de dépenses. Il est d'autant plus essentiel pour les ménages de préserver leur niveau d'effort budgétaire pour les dépenses en carburants que la composante « *servicielle* » de la dépense automobile augmente nettement plus vite que le revenu, ainsi que nous l'avons montré dans le chapitre I. Le plafonnement de l'usage de la voiture peut certes apparaître comme une « rupture » au premier abord, dans la mesure où pour la première fois, sa croissance est interrompue, ce que n'avaient pas parvenu à réaliser les chocs pétroliers des années 1970, notamment en raison d'une forte progression du taux de motorisation durant cette période, ainsi que du pouvoir d'achat des ménages. Mais d'un autre côté, on voit qu'elle s'explique très bien par le fait que l'augmentation actuelle des prix des carburants n'a pas de précédent, même les augmentations des années 1970 demeurant modérées par comparaison, et surtout qu'elles s'inscrivent dans un contexte de stagnation du pouvoir d'achat et de convergence des taux d'équipement automobile vers la saturation, avec semble-t-il un plafonnement à partir de 2006. Si à court terme, l'année 2000 marque bien une rupture comportementale, celle-ci ne remet pas en cause la tendance de long terme, qui est modélisable. Elle impliquerait seulement d'aménager les modèles de manière à mieux rendre compte des fluctuations de court terme, qui tendront à être sous-estimées par le modèle, davantage conçu pour rendre compte des évolutions de long terme.

Un autre aspect de la question porte cependant sur le caractère « accidentel » de la stabilisation du kilométrage moyen par adulte. En effet, dans l'hypothèse d'une réaction de caractère habituel à une augmentation exceptionnelle des prix, le plafonnement de l'usage de la voiture présente un caractère contingent, résultant de la compensation accidentelle entre les évolutions respectives du taux de motorisation des adultes, qui continue de progresser, et du pouvoir d'achat énergétique moyen, qui diminue. Les évolutions du taux de motorisation et de l'usage moyen des véhicules sont dans ce cas indépendantes. On peut cependant douter du caractère accidentel d'une stabilisation qui s'observe pendant plus d'une décennie, et supposer que celle-ci traduirait plutôt une volonté des ménages de stabiliser leur niveau total d'usage de la voiture, de manière à maîtriser l'évolution de leur facture énergétique liée au transport. Cette stratégie impliquerait,

compte tenu d'une motorisation croissante⁵¹, une réduction de l'utilisation moyenne de chaque véhicule. Dans ce cas, l'évolution du kilométrage annuel par véhicule aurait cessé d'être indépendante de celle du parc automobile, mais varierait en sens inverse de celui-ci. Bien que cette hypothèse ne soit pas nécessaire d'un point de vue « technique » pour justifier le plafonnement de l'usage de la voiture, elle ne peut pas non plus être exclue sur la base des informations dont on dispose. Cette question nécessiterait donc des analyses plus approfondies, et ne peut sans doute pas être tranchée seulement à partir de l'analyse de données quantitatives, mais nécessite des enquêtes qualitatives permettant de faire ressortir les stratégies déployées au sein des ménages.

Une autre explication parfois avancée est qu'avec l'augmentation du nombre de véhicules du ménage, l'utilisation de la voiture est répartie sur un plus grand nombre de véhicules, de sorte que le kilométrage parcouru par véhicule diminue. Ce raisonnement peut s'appliquer du moins aux déplacements réalisés en commun tels que certains déplacements de loisirs et à longue distance. Pour ces derniers, l'achat d'un véhicule supplémentaire ne modifie pas le kilométrage parcouru par adulte, mais divise l'utilisation moyenne de chaque véhicule. Par contre, si le véhicule supplémentaire entraîne une modification des comportements de mobilité, par exemple en suscitant l'utilisation de la voiture par le conjoint pour se rendre à son travail au lieu des transports en commun, alors le kilométrage moyen par adulte parcouru en voiture augmente au niveau du ménage, mais l'utilisation moyenne de chaque véhicule dont dispose le ménage ne change pas.

Une autre interprétation parfois avancée pour le plafonnement de l'usage moyen de la voiture par adulte est celle de la saturation. Cependant, cette hypothèse n'est pas satisfaisante, dans la mesure où la croissance du taux de motorisation a pour l'instant toujours entraîné une augmentation du kilométrage moyen par adulte, pour la raison que nous venons d'indiquer. Or, le taux de motorisation a continué de croître au moins jusqu'en 2006, donc bien plus tard que le commencement du « *peak car* ». En outre, le processus de convergence vers la saturation présente un caractère progressif - lié notamment à la succession des générations - qui s'accorde mal avec la rupture de pente assez nette que l'on observe à partir de l'an 2000 dans la trajectoire de croissance du kilométrage moyen par adulte. De plus, celui-ci demeure encore nettement en retrait chez les plus modestes ; or, les seuils de saturation n'ont pas de raison de différer significativement en l'absence de contraintes financières. Le plafonnement de l'usage de la voiture à des seuils différents mais vers la même période montre plutôt l'existence de causes exogènes s'appliquant de la même manière à l'ensemble des ménages.

II.2.a.7) Des adaptations réversibles ou pérennes ?

Une autre question fondamentale porte sur le caractère temporaire ou pérenne des réductions de l'usage de la voiture consenties par les ménages. Cette question est cruciale du point de vue des

⁵¹ Les ménages continueraient ainsi à s'équiper en automobiles de manière à assurer à leurs membres une plus grande autonomie personnelle, mais en pratique, cette autonomie serait modulée en fonction de la contrainte financière globale définie au niveau du ménage. Ainsi, chaque membre adulte du ménage, tout en étant doté de son propre véhicule, veillerait à l'utiliser de façon plus sobre et parcimonieuse que par le passé, en alternant l'usage des véhicules avec d'autres moyens de transport lorsque c'est possible, ou encore en renonçant à certains déplacements non-strictement nécessaires. La mise en œuvre de pratiques plus multimodales est par exemple attestée dans (Rocci, 2007; Kuhnimof et al., 2012).

politiques publiques qui cherchent à modérer l'usage de la voiture, notamment en vue de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Elle est également importante pour la prévision de la demande de transport. On peut donc se demander si l'augmentation prolongée des prix, associée à leur forte volatilité, ne pourrait pas avoir induit, au-delà des réactions au fil de l'eau ou même des adaptations à plus long terme, des évolutions de comportements susceptibles de se pérenniser dans le temps, les ménages ayant dans l'intervalle adopté de nouvelles habitudes au quotidien.

Cette question n'est sans doute pas indépendante de la nature plus ou moins critique des adaptations de comportements qui ont eu lieu pendant la crise énergétique, et de leur temporalité. Si on admet l'existence d'une corrélation forte entre ces deux dernières dimensions⁵², les adaptations à long terme sont également susceptibles d'être moins aisément réversibles et donc de présenter un caractère plus durable. A l'inverse, de simples ajustements à la marge des comportements, qui n'impliquent pas une remise en cause fondamentale du mode de vie, ont davantage de chances d'être réversibles en cas de relâchement de la pression budgétaire. Toutefois, si les notions de réversibilité et de durabilité peuvent jusqu'à un certain point être confondues, elles ne sont pas absolument équivalentes. Des évolutions irréversibles sont nécessairement durables, même en cas de retour aux conditions initiales, mais l'inverse n'est pas vrai. Ainsi, des adaptations consenties sous la pression budgétaire, bien que théoriquement réversibles, pourraient néanmoins s'avérer durables, en raison d'une part de la forte probabilité d'un maintien des prix de l'énergie à un niveau élevé⁵³, d'autre part parce que les ménages auront pris de nouvelles habitudes dans l'intervalle. En outre, la forte volatilité des prix, en créant un climat permanent d'incertitude budgétaire, incite les ménages à en maîtriser le risque à travers une planification plus rationnelle de leur mobilité.

II.2.b) Déterminants transversaux, déterminants longitudinaux et facteurs de croissance du taux de motorisation

II.2.b.1) Facteurs d'hétérogénéité du taux de motorisation

Les déterminants de l'accès au permis de conduire

Dans la section II.2.a.1, on a montré que la croissance à long terme de l'usage moyen de la voiture par adulte était indexée sur celle du taux de motorisation. Par conséquent, afin de prévoir l'évolution du kilométrage moyen par adulte, il est nécessaire de projeter le taux de motorisation. Pour cela, il faut commencer par en identifier les principaux déterminants. Cette question peut être abordée dans un premier temps à partir de la littérature, qui fournit un grand nombre d'éléments sur les déterminants de l'équipement automobile des ménages.

⁵² En effet, des adaptations substantielles, plus coûteuses en termes financiers, organisationnels et psychologiques, nécessitent une planification à long terme et donc un temps d'adaptation plus élevé.

⁵³ Les baisses de prix du baril, par exemple celles enregistrées en 2014-15, ne sont pas intégralement répercutées sur les prix à la pompe, notamment en raison de la forte proportion de taxes. Par ailleurs, les tendances de fond alimentent la perspective d'une augmentation continue du prix du carburant : augmentation de la demande des pays émergents, perspective de plus en plus rapprochée du « *peak oil* », multiplication des guerres et des tensions géopolitiques avec les régions productrices de pétrole, hausse continue de la fiscalité des carburants qui représente l'une des principales sources de financement de l'Etat et des collectivités locales, dé-carbonisation de l'économie, etc. Cette évolution, qui se conjugue avec une dépression économique sévère dans un grand nombre de pays européens, notamment en Europe du Sud, va inévitablement conduire un grand nombre de ménages à rationaliser de plus en plus l'usage de la voiture.

Pour conduire un véhicule personnel, il est préalablement nécessaire de disposer du permis de conduire⁵⁴, qui constitue donc un filtre pour l'accès à un véhicule personnel et à son usage. En revanche, tous les détenteurs du permis de conduire ne disposent pas d'un véhicule personnel. Le permis de conduire est donc une condition nécessaire mais non suffisante pour accéder à l'automobile. Cette condition peut parfois être remise en cause dans la pratique, en particulier dans le cas de conduite sans permis qui est illégale. Toutefois, cette pratique demeure dans l'ensemble marginale⁵⁵. De ce fait, le taux de détenteurs du permis de conduire constitue l'un des principaux déterminants aussi bien du taux de motorisation que de l'usage moyen de la voiture par adulte. Afin de prévoir l'évolution du taux de motorisation des adultes, il est donc nécessaire, dans un premier temps, d'identifier les principaux déterminants de l'accès des adultes ayant l'âge légal de conduire, c'est-à-dire âgés de plus de dix-huit ans, au permis de conduire.

Le permis de conduire, instauré par le préfet de Paris Louis LEPINE en 1893, sous l'appellation de « certificat de capacité », était initialement réservé aux hommes, avant d'être étendu aux femmes quatre années plus tard, en 1897 (*Roux, 2012*). Toutefois, la démocratisation de l'accès au permis de conduire n'aura véritablement lieu qu'après la seconde guerre mondiale, en particulier chez les femmes. Bien que la proportion d'adultes disposant du permis de conduire soit désormais très élevée, il subsiste néanmoins un certain nombre de facteurs de variation de l'accès au permis de conduire au sein de la population. Selon *Claisse et al. (2003)*, les facteurs susceptibles de restreindre l'accès au permis de conduire sont notamment un faible niveau d'instruction, de faibles revenus - surtout dans les deux quintiles inférieurs - le coût de la formation, l'âge, l'existence d'une activité et le genre.

Mais avant tout, le caractère incomplet de la diffusion du permis de conduire s'explique par des effets de génération, en particulier chez les femmes. Les générations de femmes nées avant la seconde guerre mondiale, aujourd'hui minoritaires, ont eu un accès plus restreint au permis de conduire. Or, elles ont longtemps représenté une part substantielle de la population adulte, et n'ont été remplacées que progressivement par les générations suivantes avec la succession des cohortes. Le taux de permis des femmes est donc longtemps demeuré en retrait par rapport à celui des hommes, tout en continuant de progresser d'une génération à l'autre. Cependant, les comportements des générations successives tendent à se rapprocher de plus en plus. *Roux (2012)* observe que si ces tendances se poursuivent à l'avenir, les effets de génération finiront par disparaître et seuls les effets d'âge demeureront perceptibles.

Jusqu'aux générations nées dans les années 1970, on observait de plus une tendance à la réduction de l'âge auquel les individus passaient le permis de conduire. En s'appuyant sur les Enquêtes Nationales Transport, *Roux (2012)* a montré que l'âge d'obtention du permis de conduire a diminué jusqu'à la cohorte 1960-69, avant de se stabiliser dans la cohorte suivante. Toutefois, nous verrons sur la base d'analyses de *ParcAuto* dans le chapitre III que cette tendance ne s'est pas poursuivie dans les générations ultérieures, en particulier dans la fameuse « génération Y » née après 1980, pour laquelle l'âge de passage du permis de conduire tend à nouveau à augmenter. Certains signes de cette tendance pouvaient déjà être détectés à partir de la dernière Enquête Nationale Transport, qui montre que la proportion de titulaires du permis a reculé de - 1,3 points parmi les jeunes âgés de dix-huit à vingt-quatre ans entre les deux dernières enquêtes nationales transport, particulièrement chez les jeunes hommes (*Roux, 2012*).

⁵⁴ Lorsqu'on parle du permis de conduire, on traite ici du « permis B », autorisant à conduire l'ensemble des véhicules de moins de 3,5 tonnes.

⁵⁵ Bien qu'en augmentation, en liaison avec le nombre croissant de retraits de permis depuis le couplage du dispositif de contrôle-sanction automatisé avec le permis à points (*cf. encadré*).

Les effets de génération constituent donc le principal facteur d'hétérogénéité du taux de motorisation. Leur rôle central s'explique notamment par le fait que la diffusion des biens de consommation ne représente pas seulement un phénomène économique mais correspond également à une transformation des modes de vie et des mentalités. Ainsi, la capacité d'un public à accueillir favorablement une innovation dépend aussi du rapport entre l'image que celle-ci véhicule et ses « valeurs », qui dépendent elles-mêmes de son éducation et de son milieu d'origine. Dans les générations les plus anciennes, passer le permis de conduire n'apparaissait probablement pas encore comme une nécessité pour la majeure partie de la population⁵⁶. Par ailleurs, les habitudes de vie sont souvent formées dans l'enfance et la jeunesse, et sont plus difficiles à changer par la suite. En outre, une raison supplémentaire de la relative inertie du taux de détenteurs du permis de conduire au-delà d'un certain âge pourrait être la difficulté des personnes engagées dans la vie active et les responsabilités familiales à consacrer le temps nécessaire à la préparation des examens.

Les effets de génération interagissent avec le genre, entraînant une progression plus importante de la diffusion du permis de conduire chez les femmes. Ainsi, les proportions respectives d'hommes et de femmes titulaires du permis de conduire ont respectivement progressé de 70 à 91 %, et de 32 à 76 % entre 1973 et 2007. L'effet de genre s'est donc fortement réduit, de - 37 à - 15 points, tout en demeurant encore important (*Roux, 2012*). Bien que les fondements de l'inégalité longtemps persistante entre hommes et femmes dans l'accès au permis de conduire ne soient pas absolument clairs, on peut sans doute en rappeler plusieurs explications complémentaires : tout d'abord, la conduite est longtemps demeurée parée d'attributs masculins – image de puissance, de vitesse, d'agressivité, de technique – et considérée comme une prérogative masculine dans l'imaginaire collectif (*Fagnani, 1977*). Par ailleurs, les femmes sont longtemps demeurées dans une position d'infériorité symbolique par rapport aux hommes tant qu'elles étaient limitées au statut de femme au foyer. L'inégalité de statut au regard de l'activité professionnelle induisait également une hiérarchie naturelle, faisant de l'homme l'utilisateur principal de la voiture au sein du ménage, du fait qu'il présentait les besoins de mobilité les plus importants et qu'il constituait le principal pourvoyeur de ressources du ménage.

La situation a commencé à changer en raison de l'entrée massive des femmes sur le marché du travail, résultant de la tertiarisation de l'économie à partir des années 1960. Celle-ci impliquait que les femmes puissent disposer d'une plus grande autonomie et a sans doute modifié l'équilibre des arbitrages en matière d'utilisation des véhicules, tout en justifiant dans un grand nombre de cas l'achat d'un second véhicule, également favorisé par l'apport d'un second revenu dans le ménage. Cette évolution du statut socioprofessionnel des femmes a sans doute incité davantage de femmes à passer le permis de conduire, à la fois en tant qu'instrument d'autonomie et moyen d'insertion socioprofessionnelle.

En dehors des effets de génération et de genre, d'autres facteurs exercent une influence sur le taux de détenteurs du permis de conduire. Parmi ces facteurs, le plus évident est l'âge. En effet, l'âge auquel les jeunes choisissent d'apprendre à conduire, puis de passer les examens, n'est pas toujours l'âge légal, mais tend à s'étaler le plus souvent entre dix-huit et vingt-cinq ans. La période d'apprentissage de la conduite est variable en fonction de la durée des études, du moment de l'entrée dans la vie professionnelle, de la date de décohabitation du foyer parental, etc. Il subsiste

⁵⁶ Ceci montre que la notion de « besoin » a un sens à condition d'être reliée à une époque et à un contexte. L'utilité perçue du permis de conduire a ainsi évolué avec les modes de vie et les mentalités : elle tend à augmenter dans une société où la culture de l'auto-mobilité est déjà largement répandue, faisant de l'accès au permis de conduire une nécessité vitale pour la participation à la vie économique et sociale.

donc toujours une période plus ou moins étendue de la vie adulte, généralement en tout début de cycle de vie, durant laquelle les jeunes ne disposent pas encore du permis de conduire.

Par ailleurs, certaines personnes ne sont pas en mesure de passer les examens du permis de conduire en raison de handicaps physiques ou cognitifs. Il peut s'agir de personnes souffrant d'un handicap physique ou mental, mais également de personnes disposant d'un faible niveau d'instruction ou souffrant de difficultés linguistiques, notamment les personnes d'origine étrangère ne maîtrisant pas les fondamentaux de la langue française. Ces différents facteurs peuvent limiter les chances de réussite aux examens.

Un manque de ressources financières est également susceptible de constituer une limitation, compte tenu du coût de la préparation aux examens du permis de conduire. Ce problème semble s'être renforcé chez les jeunes hommes depuis la suppression du service militaire obligatoire, qui assurait une préparation gratuite aux examens dont pouvaient bénéficier tous les appelés, indépendamment de leurs conditions de ressources et de leur milieu social (*Avrillier et al., 2010*). Ces différents facteurs de handicap - financier, culturel, autre - présentent un caractère cumulatif (*Licaj et al., 2012*).

Encadré 3 : Le problème de l'auto-sélection résidentielle

De nombreuses études ont montré une relation entre les formes urbaines et les comportements de mobilité, les résidents des espaces périurbains ayant une mobilité plus orientée vers l'automobile. Toutefois, ces études ne permettent généralement pas de différencier l'influence directe de l'environnement physique sur les comportements de mobilité, en raison de la dépendance automobile qu'il génère, des phénomènes d'auto-sélection résidentielle, à savoir le fait que les individus ayant une préférence plus affirmée pour l'usage de la voiture, tendent davantage à choisir un lieu de résidence en zone peu dense. Il semble que la plupart des recherches sur le problème de l'auto-sélection résidentielle tendent à établir une influence statistiquement significative des phénomènes d'auto-sélection résidentielle.

Outre le manque de ressources, un lieu de résidence situé dans un milieu urbain dense, caractérisé par l'existence d'alternatives efficaces à la voiture, pourrait également conduire certaines personnes à différer le moment de passer les examens du permis de conduire, tant qu'elles n'y sont pas contraintes par l'évolution de leur habitat ou de leur situation professionnelle. Mais l'existence d'effets de localisation sur la propension à détenir le permis de conduire peut également résulter d'une relation de causalité inverse, dite d'auto-sélection résidentielle (*cf. encadré*). Ainsi, les personnes n'ayant jamais passé leur permis de conduire – par exemple dans les générations les plus anciennes – tendront à privilégier un lieu de résidence où elles sont moins dépendantes de l'automobile (*cf. encadré*).

Enfin, le durcissement des lois en matière de prévention et de répression des infractions à la sécurité routière tendent à fragiliser le statut des détenteurs du permis de conduire. Ainsi, on estime qu'à l'heure actuelle, environ 85 000 personnes perdent leur permis chaque année depuis 2002 (*Ministère de l'Intérieur, 2011, cf. encadré*). Le caractère irréversible de la détention du permis de conduire tend donc de plus en plus à être remis en question.

Encadré 4 : Le permis à points et l'irréversibilité du permis de conduire

L'obtention du permis de conduire en France présente un caractère quasi-irréversible. Lorsqu'une personne passe le permis de conduire, celui-ci est en général acquis pour la vie. Toutefois, le système du permis à points, institué par la loi n°89-469 du 10 juillet 1989 relative à diverses dispositions en matière de sécurité routière et en matière de contravention, tend à remettre en cause cette irréversibilité. Entré en vigueur au 1^{er} Juillet 1992, il est combiné avec le système de contrôle-sanction automatisé ou des « radars ». Il a contribué à permettre une diminution des chiffres de la mortalité causée par l'insécurité routière, avec une baisse du nombre de morts sur les routes de plus de 9 000 morts en 1992 à moins de 4 000 morts en 2011 (*Baromètre Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière*).

Les décisions de retraits de points sont enregistrées dans l'application *Système National des Permis de Conduire (SNPC)*, placée sous l'autorité du *Ministère de l'Intérieur*. Le nombre d'infractions traitées chaque année a explosé, d'environ 1 000 000 à plus de 7 000 000 entre 2003 et 2012. Les retraits de permis, après être demeurés modérés jusqu'en 2003, ont depuis lors explosé, passant de moins de 20 000 retraits annuels à environ 100 000 retraits annuels en 2008. Ils ont depuis lors légèrement diminué pour se stabiliser aux alentours de 85 000 retraits annuels (*Ministère de l'Intérieur, Direction de la Modernisation et de l'Action territoriale, Sous-Direction de la Circulation et de la Sécurité Routières, bilan du permis à points, 2011*).

En dépit des effets bénéfiques de ce dispositif en matière de sécurité routière, les retraits de permis peuvent accentuer certains phénomènes d'exclusion et par la suite générer des difficultés d'insertion sociale, notamment sur le marché du travail. Surtout, ils risquent de provoquer une inflation de la conduite sans permis. Tout en restant marginale, celle-ci tend à se développer et son importance est aujourd'hui mal évaluée, alors qu'elle représente un enjeu tant au niveau de la sécurité routière que pour la connaissance et la modélisation des trafics. Le sujet commence toutefois à être pris en compte dans la littérature (*Knox et al., 2003 ; Ross Silcock Foundation for Road Safety Research, 1999 ; Nguyen, 2013*). Ainsi, selon *Nguyen (2013)* s'appuyant sur l'ENTD, environ 1,6 % des déplacements en voiture conducteur sont réalisés par des personnes n'ayant pas le permis. Il est toutefois difficile de faire la part des choses, à partir de ces seules données, entre la conduite réellement illégale et la conduite accompagnée.

Même dans les générations récentes, un certain nombre de facteurs sont donc susceptibles de limiter la diffusion du permis de conduire, dont on peut s'attendre à ce qu'elle sature avant que tous les adultes ayant l'âge légal de conduire disposent effectivement du permis. Dans un contexte où la possession du permis tend à présenter un caractère normatif, et où le permis est devenu un outil indispensable à l'insertion sociale et professionnelle, la privation du permis de conduire est susceptible de représenter un facteur d'exclusion (*Bertrand, 2005*). Le permis de conduire, une fois qu'il est acquis, constitue un capital de mobilité permanente, dont l'utilité doit être évaluée sur l'ensemble du cycle de vie, et ne dépend pas des circonstances temporaires attachées aux différentes étapes de la vie. Même dans le cas où le besoin d'utilisation d'une voiture n'est pas immédiat, l'acquisition du permis de conduire constitue une assurance pour la mobilité future de l'individu. En raison du caractère irréversible du permis de conduire, la variabilité dans la possession du permis de conduire est surtout une hétérogénéité entre individus liée à des facteurs permanents, c'est-à-dire que les facteurs de génération et de sexe, notamment, dominent largement dans l'explication de la variabilité dans l'accès au permis de conduire sur les facteurs variables au cours du temps, tels que le niveau de revenu ou le lieu de résidence, par exemple.

Facteurs d'hétérogénéité permanente de l'accès à un véhicule personnel chez les détenteurs du permis de conduire

La détention du permis de conduire ne constitue pas le seul facteur d'accès à un véhicule personnel chez les individus adultes. Ainsi, parmi les titulaires du permis de conduire, certains choisissent, à un moment ou à un autre de leur vie, de ne pas posséder de véhicule personnel, soient qu'ils aient un accès occasionnel au véhicule principal du ménage dont ils ne constituent pas l'utilisateur principal, soit qu'ils vivent seuls et n'éprouvent pas le besoin d'avoir un véhicule, par exemple dans le cas de personnes habitant et travaillant en centre-ville et se déplaçant peu en dehors d'un bassin de proximité. D'autres facteurs que l'absence de besoin peuvent déterminer le fait de ne pas disposer d'un véhicule personnel. Il s'agit, par exemple, du manque de ressources financières, compte tenu des coûts tant d'acquisition que d'utilisation des véhicules, qui peuvent s'avérer prohibitifs pour au moins une partie de la population. En outre, comme pour le permis de conduire, les comportements ont évolué au fil des générations. En particulier, les générations récentes disposent plus souvent d'une seconde voiture au sein des couples. Cette évolution, comme pour le permis de conduire, tient à de multiples facteurs : sociétaux, économiques, spatiaux, et plus généralement liés à l'évolution des conditions de vie. Si certains de ces facteurs représentent des caractéristiques permanentes des individus – c'est le cas notamment de la génération et du sexe – contribuant à expliquer les différences permanentes de motorisation et d'usage de la voiture, dites aussi différences « transversales », d'autres contribuent au contraire à expliquer la manière dont le taux de motorisation évolue au fil du temps, pour un individu ou un groupe d'individus. On parlera dans ce cas de facteurs « longitudinaux ». Bien entendu, certains facteurs peuvent exercer une double influence, à la fois dans la dimension transversale et longitudinale. Dans cette section, on dresse tout d'abord un panorama de l'ensemble des facteurs d'hétérogénéité permanente entre individus pour l'accès à un véhicule personnel chez les détenteurs du permis de conduire, que l'on peut d'ores et déjà identifier à partir de la littérature, avant d'identifier un certain nombre de facteurs de variation longitudinale de la motorisation chez les détenteurs du permis de conduire dans la section suivante. L'importance relative de ces facteurs sera ensuite évaluée dans le chapitre III à partir de l'exploitation des données de *ParcAuto* sur la base d'une analyse de type âge-cohorte.

Il existe de nombreuses analyses sur les déterminants du niveau d'équipement automobile des ménages, tant dans la littérature française qu'internationale. En France, les thèses de *Collet (2007)* et *Roux (2012)*, par exemple, fournissent certains éléments factuels sur cette question, à partir d'analyses de niveau ménage basées respectivement sur le panel *ParcAuto* et les *Enquêtes Nationales Transport* successives. *Collet (2007)* modélise par exemple la probabilité pour un ménage d'avoir un nombre donné de véhicules - zéro, un, deux et plus - à partir d'un modèle *probit* ordonné dynamique sur les données pondérées de la période 1999-2001 du panel *ParcAuto*, en s'inspirant d'autres modèles dynamiques d'équipement automobile sur données de panel, tels que *Kitamura et Bunch (1990)*, *Hanly et Dargay (2000)*, ou encore *Dargay et al. (2006)*. *Roux (2012)* combine deux régressions logistiques transversales, respectivement sur les enquêtes nationales transport de 1981-82 et 2007-08, avec une analyse longitudinale d'un échantillon d'individus observés de dix-huit à cinquante ans, issu du volet biographique de la dernière enquête nationale transport (cf. section 1.2.a.2). Ces analyses permettent de mettre en évidence les principaux déterminants des niveaux d'équipement des ménages ainsi que la manière dont ils ont évolué dans le temps, des évolutions qui peuvent, pour une partie d'entre elles, être rapportées au processus de diffusion de l'automobile (cf. section 1.2.c.3).

Les déterminants des niveaux de motorisation des ménages sont à la fois sociétaux, démographiques, spatiaux et socio-économiques (*Fraisse, 1996*). L'influence de ces divers facteurs peut s'expliquer soit par le fait qu'ils modifient les besoins de mobilité, et par là-même l'utilité de disposer d'un nombre donné de véhicules, soit par le fait qu'ils limitent la capacité à satisfaire ces besoins, empêchant de ce fait la transformation d'une demande potentielle en demande effective (*cf. section II.2.c.1*).

Lorsqu'on place l'analyse au niveau du ménage, le facteur le plus influent et aussi le plus évident du niveau d'équipement automobile est la taille du ménage, le besoin de motorisation augmentant avec le nombre d'adultes en âge de conduire, générant chacun des besoins de mobilité qui leur sont spécifiques. L'influence de la taille du ménage sur le nombre de voitures dont il dispose est variable, bien entendu, selon le nombre de titulaires du permis de conduire qu'il comporte. En effet, quel que soient les besoins de mobilité découlant des programmes d'activité et des caractéristiques de l'environnement bâti et de l'offre de transport, qui génèrent un niveau plus ou moins élevé de dépendance automobile, la capacité à satisfaire ces besoins peut être entravée par l'absence du permis de conduire. Toutefois, l'équipement d'un ménage augmente moins vite que le nombre de permis de conduire au sein du ménage, les permis supplémentaires n'entraînant pas toujours une augmentation du nombre de voitures du ménage, notamment en raison de la fonction collective du véhicule principal, qui permet en partie de pourvoir aux besoins de mobilité de l'ensemble des adultes du ménage (*Papon et Hivert, 2008*), de l'absence de besoin d'une seconde voiture dans certains cas - notamment pour les ménages qui résident en ville - et d'entraves à la motorisation additionnelles à l'absence du permis de conduire, telles que par exemple le manque de ressources financières.

Cependant, une fois qu'on a identifié les déterminants spécifiques de l'accès au permis de conduire, il convient de faire porter le questionnement sur les déterminants spécifiques de la motorisation des détenteurs du permis de conduire, en raisonnant à un niveau individuel. La composition du ménage exerce également une influence sur les niveaux d'équipement, qui sont plus élevés chez les couples avec enfants que chez les personnes seules. Néanmoins, la probabilité de motorisation a fortement augmenté chez les personnes seules et les familles monoparentales entre 1982 et 2008 (*Roux, 2012*). D'une manière générale, la vie de couple est favorable à la disposition de véhicules au sein du ménage, cette probabilité augmentant en présence d'enfants. Cependant, l'influence du nombre d'enfants disparaît lorsqu'on utilise un modèle économétrique, en raison de sa corrélation avec les autres facteurs (*Collet, 2007*).

Parmi les autres facteurs générant des besoins de mobilité supplémentaires, l'exercice d'une activité professionnelle joue un rôle prépondérant. En effet, les migrations pendulaires conduisent à une augmentation substantielle de la mobilité, ainsi qu'à la nécessité de chaîner les déplacements domicile-travail avec les déplacements pour les autres motifs, compte tenu d'un budget-temps de transport quotidien limité (*cf. section II.1.a*). Une situation d'activité professionnelle ne conduit pas seulement à augmenter le nombre des déplacements quotidiens, mais également leur distance, les déplacements vers le travail étant nettement plus longs que pour les autres motifs et leur distance ne cessant d'augmenter (*Boulaïbal, 2001 ; Baccaini et al., 2007 ; CERTU, 2010*). Aussi, l'usage de la voiture tend-il fréquemment à être privilégié pour ce motif, car il s'avère plus flexible et permet d'enchaîner facilement un grand nombre de déplacements lorsque les personnes sont soumises à de fortes contraintes temporelles. À l'inverse, les retraités et les chômeurs effectuent un moins grand nombre de déplacements quotidiens en moyenne. De fait, une forte influence de l'existence d'une activité professionnelle est observée par *Collet (2007)*, tant sur la probabilité d'équipement des ménages que de multi-équipement. Toutefois, le niveau de motorisation demeure important chez les retraités, ces derniers tendant à conserver leurs

habitudes de conduite passées pendant la retraite (*Bodier, 1996*), notamment du fait qu'ils disposent d'un pouvoir d'achat assez important en comparaison des générations précédentes et sont encore en bonne santé, de sorte qu'ils tendent à compenser la disparition des déplacements professionnels par un accroissement de leurs mobilités de loisirs.

Chez les jeunes adultes, l'existence d'une activité professionnelle apparaît déterminante dans les décisions de motorisation individuelle. Ainsi, d'après *ParcAuto*, la proportion d'utilisateurs principaux d'un véhicule est de 63,4 % chez les jeunes actifs âgés de dix-huit à trente ans, contre seulement 30,7 % chez les étudiants et 32,6 % chez les chômeurs du même groupe d'âge. Un autre facteur décisif de la décision de se motoriser est la décohabitation. Ainsi, la proportion d'utilisateurs principaux d'un véhicule est nettement plus élevée chez les jeunes ayant quitté le foyer parental, s'élevant à 60,1 %, qu'ils vivent ou non en couple. La différence de motorisation entre les jeunes ayant accédé à leur autonomie et les autres s'explique sans doute probablement par le fait que les jeunes vivant au sein du foyer parental peuvent bénéficier occasionnellement de l'usage des véhicules de leurs parents, même s'ils n'en sont pas les utilisateurs principaux. Parmi les jeunes ayant quitté le foyer parental, il est un peu plus élevé chez ceux qui constituent la personne de référence du ménage (65,0 %) que chez ceux qui ont le statut de « conjoint » (54,4 %), mais l'écart n'est pas considérable. De plus, parmi les personnes qui ont quitté le foyer parental, la différence de motorisation demeure élevée entre les personnes actives occupées, parmi lesquelles la proportion d'utilisateurs principaux d'un véhicule s'élève à 64,4 %, et les personnes inactives ou actives non-occupées, pour lesquelles elle atteint seulement 34,0 %. En revanche, au sein du même groupe, l'écart est faible entre les personnes vivant seules et celles ayant un conjoint, affichant respectivement des taux de motorisation de 44,0 et 38,6 %. Si maintenant on considère les jeunes vivant encore au foyer parental, le taux de motorisation est paradoxalement plus faible chez les actifs (54,8 %) que chez les inactifs (70,9 %). Une explication possible de ce paradoxe apparent pourrait résider dans le fait que la situation d'actif vivant au foyer parental est plus fréquente au sein des ménages modestes, les revenus d'activité des parents étant dans ce cas insuffisants pour financer la décohabitation des jeunes. Les principaux facteurs de motorisation des jeunes adultes sont donc l'accès à l'autonomie et, parmi ceux qui ont accédé à l'autonomie, l'exercice d'une activité professionnelle.

Par ailleurs, les taux de motorisation décroissent avec la densité de population. Ainsi, les résidents des zones rurales sont nettement plus motorisés que les habitants des grandes agglomérations de province, qui le sont eux-mêmes davantage que les habitants de l'agglomération parisienne. Par ailleurs, au sein de chaque aire urbaine, les taux de motorisation croissent du centre vers la périphérie. Par exemple, en Ile-de-France, ils sont nettement plus faibles en ville-centre qu'en banlieue, et en banlieue qu'en zone périurbaine.

Le rôle du facteur de localisation dans la probabilité de multi-équipement a eu tendance à se renforcer entre 1982 et 2008, passant au premier plan devant les facteurs sociodémographiques tels que le revenu du ménage, la présence d'enfants dans le ménage, l'âge et le niveau d'instruction de la personne de référence, tous facteurs dont l'influence décline. Le rôle de ce facteur s'explique par l'influence qu'il exerce sur le degré de dépendance automobile des ménages, et l'accroissement de son influence par des tendances opposées dans les dynamiques de motorisation et d'usage des véhicules entre les habitants des zones denses et des zones peu denses (*cf. sections 1.2.c.3 et 1.3.b.1*).

Encadré 5 : La motorisation, une décision au niveau de l'individu ou au niveau du ménage ?

Il est possible de considérer la voiture comme un bien de niveau individuel plutôt que comme un bien de niveau ménage, à partir des considérations suivantes :

- L'individualisation croissante de l'équipement automobile, en lien avec la diffusion du multi-équipement au sein des ménages ;
- La commodité de cette représentation pour les applications en matière de prévision, compte tenu de la disponibilité de projections démographiques individuelles de l'INSEE à l'horizon 2060 ;
- Le choix de segmenter l'analyse des comportements en fonction du sexe, compte tenu du décalage entre hommes et femmes dans la diffusion du permis de conduire et de la disposition d'un véhicule personnel ;
- Le permis de conduire, qui constitue un filtre pour l'accès à un véhicule personnel et la conduite, constitue un attribut individuel.

Néanmoins, le processus de choix d'équipement automobile est sans doute plus complexe dans la réalité, et articule les niveaux « *ménage* » et « *individu* ». En effet, ils dépendent en partie de caractéristiques purement individuelles, les besoins de mobilité de chacun des membres du ménage évoluant en fonction des étapes et des circonstances de leurs vies. Mais certains choix représentent aussi des décisions collectives, et font par conséquent l'objet d'arbitrages internes au ménage, notamment lorsque le nombre de véhicules est strictement inférieur au nombre d'adultes. Le ménage peut réagir à l'augmentation de ses besoins de différentes manières, soit en augmentant son niveau d'équipement, soit par une gestion de la pénurie, nécessairement défavorable à l'un de ses membres. Les modalités d'arbitrage dépendront des besoins respectifs de ses membres – existence d'activité professionnelle, accompagnement scolaire - mais aussi des mentalités et des conventions sociales, par exemple l'attribution plus fréquente, pour un même niveau de contrainte personnelle, du véhicule au chef de ménage plutôt qu'à son conjoint. Elles ne peuvent donc être considérées comme des décisions exclusivement individuelles, ce qui constitue sans doute une des limites au cadre d'analyse retenu dans ce chapitre. Toutefois, l'introduction de variables relatives à la composition familiale dans l'analyse présentée dans le chapitre III constitue un moyen de contourner cette difficulté afin de prendre en compte l'hétérogénéité des critères de décision selon l'existence d'une vie de famille.

La question de la fonction collective des véhicules peut être approfondie en considérant l'influence de l'activité du conjoint sur le taux de motorisation des titulaires du permis. Chez les femmes ayant un conjoint, il ne varie quasiment pas en fonction de l'existence d'une activité professionnelle chez le conjoint, atteignant dans les deux cas près de 60 %. Celle-ci exerce par contre une influence positive sur le taux de motorisation des hommes. Ce résultat indique que le véhicule de l'homme est en fait souvent le véhicule unique du ménage, et assure une fonction partiellement collective. L'identification de l'homme comme utilisateur principal du véhicule peut revêtir dans certains cas un aspect conventionnel, dans la mesure où il est généralement identifié comme chef de ménage.

Encadré 6 : Deux manières différentes de calculer le taux de motorisation - nombre de véhicules par adulte et proportion d'utilisateurs principaux

Le taux de motorisation peut être défini comme la proportion d'adultes qui sont utilisateurs principaux d'au moins un véhicule dans le ménage. Toutefois, on a montré que l'usage moyen de la voiture par adulte était indexé sur le taux de motorisation des adultes, défini comme le nombre de voitures par adulte. Cependant, on ignore si ces deux définitions sont équivalentes. En effet, le nombre d'utilisateurs principaux est susceptible d'être inférieur au nombre de voitures, dans le cas où certains individus ont un accès préférentiel à l'ensemble des véhicules du ménage, tandis que d'autres n'y ont pas accès.

Dans le cas d'une personne seule, les deux indicateurs coïncident en général car celle-ci dispose le plus souvent d'un unique véhicule. Le nombre moyen de voitures dont un adulte est utilisateur principal sera donc égal dans ce cas à :

$\tau_{VP} \sim \tau_{up} * 1 + (1 - \tau_{up}) * 0 = \tau_{up}$, τ_{VP} désignant le nombre de voitures par adulte et τ_{up} la proportion d'utilisateurs principaux.

Au sein des couples, le chef de ménage tend à être déclaré plus souvent comme utilisateur principal d'un véhicule que le conjoint, lorsque le ménage dispose d'un seul véhicule. Dans le cas où le ménage dispose de deux véhicules, le nombre d'utilisateurs principaux coïncide le plus souvent avec le nombre de voitures. Pour la majorité des ménages ayant deux voitures, on aura donc à nouveau :

$\tau_{VP} \sim \tau_{up} * 1 + (1 - \tau_{up}) * 0 = \tau_{up}$, dans le cas où tous les adultes sont utilisateurs principaux d'un et un seul véhicule.

Cependant, certains couples ne disposent que d'un seul véhicule. Dans ce cas, il y a un seul utilisateur principal dans le ménage. La proportion d'utilisateurs principaux dans le ménage est donc de 0,5, et le nombre moyen de véhicules par adulte est également 0,5. On est donc à nouveau dans un cas de coïncidence entre les deux indicateurs.

Les deux indicateurs coïncident donc dans la majorité des cas, et peuvent en général être utilisés de manière équivalente. Ils diffèrent cependant dans les cas où le nombre de véhicules du ménage est supérieur au nombre d'utilisateurs principaux, par exemple lorsque le ménage dispose de trois véhicules et que le chef de ménage est l'utilisateur principal de deux d'entre eux. Dans ce cas, le nombre d'utilisateurs principaux dans le ménage est égal à 2, tandis que le nombre de véhicules par adulte est égal à 1,5. Le problème se pose également dans le cas où le ménage dispose de deux véhicules, dont le chef de ménage est l'utilisateur principal exclusif. La proportion d'utilisateurs principaux est dans ce cas égale à 0,5, tandis que le nombre de véhicules par adulte est égal à 1.

Lorsqu'on compare l'évolution de ces deux indicateurs entre 1994 et 2010 à partir du panel *ParcAuto*, on observe que la proportion d'utilisateurs principaux est proche du nombre de voitures par adulte en début de période, autour de 55 %. Cependant, les deux indicateurs divergent en fin de période, la proportion d'utilisateurs principaux se situant aux environs de 0,65 en 2010, contre 0,7 pour le nombre de voitures par adulte. L'écart entre les deux indicateurs tend à demeurer stable depuis 2004.

Le manque de ressources financières est susceptible d'entraver la capacité des ménages à se motoriser, ou à acquérir un second véhicule. Ainsi, le taux de motorisation augmente avec le revenu du ménage (Hivert, 2001). Collet (2007) calcule, pour les ménages présents dans *ParcAuto* de 1999 à 2001, que 39 % de ceux dont le revenu était inférieur à 100 kF⁵⁷ n'étaient pas motorisés, et seulement 12 % étaient multi-motorisés, tandis que 49 % des ménages gagnant plus de 200 kF étaient multi-motorisés.

De même, Roux (2012) montre que la probabilité pour un ménage d'être motorisé est inférieure à la moyenne dans les deux quintiles inférieurs de revenu. Cependant, ainsi que nous l'avons montré dans la section I.2.c.3, les inégalités de motorisation des ménages tendent à se déplacer vers le multi-équipement, avec néanmoins une tendance globale à la réduction des inégalités de motorisation. De plus, les ménages dont le chef est cadre ou profession intellectuelle supérieure tendent à se dé-motoriser depuis 1982, indiquant l'atteinte d'un niveau de saturation et un changement des priorités chez les plus aisés (Roux, 2012). Il se peut en outre que, ces derniers étant massivement représentés en Ile-de-France, jugent de moins en moins opportune la possession et l'usage d'un ou plusieurs véhicules.

Mais l'ensemble de ces facteurs ne jouent pas de la même manière selon les générations. Les niveaux de motorisation des ménages sont ainsi caractérisés par de forts écarts intergénérationnels, en particulier pour l'accès des ménages au multi-équipement (Collet, 2007 ; Roux, 2012). Ces derniers s'expliquent notamment par l'hétérogénéité de l'accès au permis chez les femmes en fonction des générations, dans la mesure où celui-ci constitue un filtre pour la disposition d'une seconde voiture au sein des couples. Toutefois, même au sein des couples où les deux conjoints disposent du permis de conduire, les niveaux d'équipement automobile demeurent hétérogènes selon les générations. Ces écarts entre générations et selon le genre peuvent s'expliquer en partie par l'évolution du taux d'activité professionnelle, qui a continuellement progressé au fil des générations chez les femmes. Toutefois, ils subsistent même lorsqu'on neutralise l'effet du permis de conduire et de l'activité professionnelle, suggérant également l'existence de facteurs « sociétaux » liés aux « rôles de genre » dans le partage de l'utilisation des véhicules, notamment lorsque les ressources des ménages ne leur permettent pas de disposer d'un second véhicule⁵⁸. Cependant, plus on avance dans le temps dans la succession des générations, plus les niveaux de motorisation sont homogènes en fonction des caractéristiques sociodémographiques – notamment de revenu et de genre – ce qui reflète le processus de diffusion de l'automobile, s'étendant sans cesse à de nouvelles couches de population. En revanche, le multi-équipement demeure très hétérogène selon la zone de résidence, une évolution dont on donnera une interprétation plus complète dans la section III.1.

II.2.b.2) Facteurs de variation de l'accès à un véhicule personnel au cours du temps

Les différences de génération et de sexe, ou encore de niveau de diplôme, sont des différences permanentes entre individus. Elles n'exercent donc d'influence que dans la dimension « transversale », mais pas dans la dimension longitudinale, ces variables demeurant constantes au cours du temps. D'autres facteurs tels que le lieu de résidence ou le revenu exercent une influence à la fois dans la dimension transversale et dans la dimension longitudinale. En effet, les individus

⁵⁷ L'euro n'a été introduit qu'en 2002.

⁵⁸ L'interprétation des effets de génération est elle-même complexe et renvoie à différents facteurs. Il est possible de la représenter comme une interaction entre le changement social qui résulte de l'évolution des mentalités et exerce une influence sur les habitudes formées pendant la jeunesse, l'évolution des conditions économiques, et celle des formes de l'urbanisation.

pourront présenter entre eux des différences permanentes de revenu, qui sont liées à leur niveau de diplôme, par exemple, et aux opportunités de carrière qui en résultent. Mais par ailleurs, leur revenu pourra tout de même évoluer au cours du temps, à mesure du déroulement de leur carrière. De même, le lieu de résidence est susceptible de varier à la fois d'un individu à l'autre, et pour un individu donné au cours du temps. Enfin, certains facteurs extérieurs au ménage, tels que le niveau des prix des carburants, varient principalement dans la dimension longitudinale, et n'exercent donc pas d'influence dans la dimension transversale⁵⁹.

Pour comprendre l'effet spécifique de chacun de ces facteurs sur le taux de motorisation, il est nécessaire de considérer les spécificités de la disposition d'un véhicule personnel par rapport aux caractéristiques du permis de conduire. En effet, contrairement au permis de conduire, dont l'acquisition est généralement irréversible, la possession d'une voiture ne constitue pas un capital de mobilité permanente, mais un bien d'équipement dont l'utilité est réévaluée à chaque nouvelle étape de la vie. Ainsi, l'acquisition d'un véhicule est une décision réversible, et une personne pourra choisir de se dé-motoriser si l'évolution de ses besoins de mobilité le justifie, ou bien en cas de baisse de ses ressources financières. Par conséquent, tandis que le taux de permis de conduire au sein d'une génération tend à augmenter avec l'âge, pour se stabiliser au-delà de l'âge de trente-cinq ans, le taux de motorisation tend à atteindre un maximum en milieu de cycle de vie, puis à décroître. La courbe de motorisation avec l'avancée en âge présente donc une forme typique de courbe en cloche, qui est susceptible de recouvrir différentes évolutions dans les besoins : décohabitation, accès à un premier emploi, formation d'un ménage, naissance d'enfants dans le ménage, puis séparation, cessation d'activité ou chômage, départ des enfants du foyer. Le taux de motorisation varie donc constamment au cours du temps, à la fois en fonction des besoins du foyer et des circonstances économiques. De ce fait, les facteurs du taux de motorisation ont davantage d'effets longitudinaux que pour le permis de conduire, qui est déterminé presque exclusivement par des différences permanentes entre individus, en particulier les effets de genre et de génération, ainsi que des différences permanentes de revenus.

Parmi ces facteurs, la taille et la composition des ménages, qui exercent une influence permanente sur leur niveau d'équipement automobile, agissent bien évidemment aussi comme facteurs de variation du niveau d'équipement automobile des ménages au cours du temps. Par exemple, *Roux (2012)* montre que la taille du ménage exerce une influence importante sur les dynamiques de motorisation, sur la base d'une analyse longitudinale. Si un ménage s'accroît en taille en accueillant un nouveau membre, son besoin de motorisation tendra à augmenter. À l'inverse, si un adulte titulaire du permis de conduire quitte le ménage pour fonder son propre foyer, par exemple en cas de départ d'un jeune adulte du domicile parental, le besoin de motorisation global du ménage tendra à diminuer.

En outre, le besoin de motorisation des individus évolue selon l'étape de la vie dans laquelle ils se situent. Le niveau de motorisation des ménages tend ainsi à atteindre son maximum lorsque l'âge du chef de ménage se situe entre quarante et cinquante ans, à un niveau d'environ 1,47 voiture par ménage, pour décliner ensuite. Mais le profil de motorisation en fonction de l'âge évolue au fil des générations. Ainsi, *Roux (2012)* observe que l'accès au mono-équipement, puis au multi-équipement, est de plus en plus précoce au fil des générations successives, du moins jusqu'à celles

⁵⁹ C'est du moins vrai pour un même type de carburant, en considérant les différences locales de prix du carburant au sein d'un même pays comme négligeables. Par contre, si on considère le coût d'usage des véhicules spécifique à chaque ménage – ou le prix en €/km – d'importantes différences entre ménages sont liées au type de motorisation des véhicules dont ils disposent, les véhicules *diesel* bénéficiant tout à la fois de prix à la pompe plus faibles et de consommations inférieures à celles des véhicules essence.

qui sont nées dans les années 1970 : la moitié des individus nés avant 1934 ont mis trente ans à partir de l'âge adulte avant de faire partie d'un ménage motorisé, alors que ceux nés dans les années 1970 n'ont attendu que sept ans en moyenne. Cependant, la « génération Y », née après 1980, semble se motoriser plus tardivement. L'effet de l'âge traduit globalement un renforcement des contraintes professionnelles, familiales et spatiales en milieu de vie, les adultes ayant alors fréquemment fondé un foyer avec des enfants scolarisés, résidant plus souvent dans les zones périurbaines, et exerçant une activité professionnelle, tous éléments de contexte suscitant des besoins de mobilité importants. Cependant, la prise en compte de ces différentes variables n'épuise pas complètement l'effet de l'âge et il demeure nécessaire de le conserver comme un facteur explicatif à part entière.

Enfin, lorsqu'on travaille dans la dimension longitudinale, le niveau de motorisation à un instant donné n'est pas indépendant de celui qu'on observe pendant les périodes passées, ainsi que le relève *Collet (2007)*, un phénomène connu sous le nom de dépendance d'état. Le niveau de motorisation, en effet, n'est pas constamment remis en cause chaque année, mais les ménages ont d'autant plus de chances d'être équipés qu'ils l'étaient déjà l'année précédente⁶⁰. Ainsi, 95 % des ménages équipés une année donnée le sont encore l'année suivante. La modélisation, tout en confirmant l'existence de dépendance temporelle, montre toutefois que le temps d'ajustement des niveaux de motorisation est très rapide, les trois quarts de l'adaptation à long terme étant réalisée en l'espace d'un an, et plus de 95 % au bout de quatre années (*Collet, 2007*). Un modèle statique s'avère donc une approximation satisfaisante des comportements de motorisation, d'autant que la progression des taux de motorisation est assez régulière. C'est sans doute moins vrai pour les comportements d'usage des véhicules, qui nécessitent des adaptations à plus long terme.

Le lieu de résidence exerce également une influence importante sur les dynamiques d'accès à un véhicule au cours du temps : sur la base d'une analyse longitudinale, *Roux (2012)* montre que l'un des facteurs les plus importants de la propension des ménages à s'équiper en automobiles est constitué par un changement de zone de résidence.

II.2.b.3) Facteurs de croissance du taux de motorisation

En 2008, plus de quatre ménages sur cinq sont équipés d'un véhicule particulier, contre moins de 24 % en 1953, d'après l'enquête nationale transports. D'après les vagues récentes de *ParcAuto*, la proportion de ménages motorisés a encore progressé pour atteindre 84,6 % en 2011 contre 83,6 % en 2008. Néanmoins, elle semble décliner légèrement depuis lors jusqu'à 84,1 % en 2013⁶¹. Avec l'accroissement du parc de véhicules et le développement du marché de la revente, la part des achats d'occasion a augmenté au sein du total des ventes de véhicules particuliers, faisant baisser les prix moyens d'acquisition, et contribuant à la démocratisation de l'automobile, qui s'est diffusée des couches sociales supérieures vers les couches moyennes puis modestes. Le processus de diffusion de l'automobile s'est donc étendu à l'ensemble des groupes sociaux, mais avec une temporalité différente et des écarts qui se maintiennent, prenant la forme de courbes de croissance parallèles. Ainsi, les ménages modestes tendent aujourd'hui à s'équiper, tandis que les

⁶⁰ La dépendance d'état traduit différents phénomènes (cf. annexe 4). Entre autres, l'automobile constitue un investissement de moyen à long terme, dont l'opportunité n'est réévaluée qu'à l'occasion de changements importants dans la situation de l'individu ou du ménage.

⁶¹ La comparaison des vagues récentes de *ParcAuto* et de l'ENTD de 2008 n'est pas directement faisable car les sources sont hétérogènes. Ainsi, la proportion de ménages motorisés dans l'ENTD de 2008 s'élève à seulement 80,4 %. Des différences d'échantillonnage et de redressement peuvent contribuer à expliquer ces écarts. Pour juger de l'évolution de la motorisation entre 2008 et 2013, on doit s'appuyer sur une même source, par exemple *ParcAuto* ou encore le recensement rénové de la population qui permet de suivre les évolutions en continu.

ménages à hauts revenus se multi-motorisent. En 2007, 48 % des ménages à hauts revenus (4^e et 5^e quintiles) étaient multi-motorisés.

L'analyse de la littérature (par ex. Roux, 2012 ; Gallez, 1994) montre que le processus de diffusion du permis de conduire et de l'automobile repose largement sur les effets de génération, c'est-à-dire que la croissance à long terme du taux de motorisation s'explique par le remplacement de générations peu motorisées par des générations de plus en plus motorisées. Ce sont surtout les femmes qui contribuent à ce processus, en raison d'un accès plus tardif au permis de conduire et à la disposition d'un véhicule personnel, en particulier chez les femmes au foyer. Les effets de génération exercent donc une influence à la fois comme facteurs d'hétérogénéité des niveaux de motorisation individuels, et de croissance du taux de motorisation moyen. Outre la diffusion du permis de conduire aux femmes, les principaux facteurs de croissance à long terme du taux de motorisation ont été l'augmentation du taux d'activité féminin, l'élévation générale du pouvoir d'achat des ménages et la périurbanisation qui a notamment renforcé la dépendance automobile des actifs.

Enfin, en raison de la scolarisation de masse des générations du baby-boom puis de la génération Y, les niveaux d'instruction ont globalement augmenté, ce qui a entraîné des répercussions sur l'accès au permis de conduire. En effet, le niveau de diplôme est l'un des principaux facteurs des chances de succès aux examens du permis de conduire. En outre, l'allongement de la scolarité des femmes a contribué à permettre leur entrée dans le monde du travail salarié, ce qui également contribué à l'augmentation de leur niveau de motorisation à long terme. L'augmentation des niveaux de diplôme tend à se prolonger dans la génération Y, avec toutefois des effets plus ambigus sur l'usage de la voiture, dans la mesure où l'allongement des études, associé au renforcement des contraintes financières, peuvent conduire les nouvelles générations à différer dans le temps aussi bien les examens du permis de conduire que l'acquisition d'un véhicule personnel (cf. section II.1.c).

II.2.b.4) Les différentes étapes de la diffusion d'un bien durable

La notion de processus de diffusion d'un bien durable se rapporte au fait que la pénétration d'un équipement se déploie progressivement au sein de la population, dont elle atteint des couches toujours plus larges, des plus riches vers les plus pauvres, des citadins vers les ruraux, des « innovateurs » vers les sphères plus conservatrices de la société. Elle est particulièrement adaptée pour décrire la pénétration des biens produits de manière industrielle, pour lesquels les quantités produites ne sont pas limitées *a priori* par une contrainte extérieure (comme par exemple par les ressources disponibles dans le cas des matières premières), mais peuvent s'ajuster de manière à répondre de manière élastique à l'évolution de la demande. La pénétration d'un marché de plus en plus large est favorisée par la diminution des coûts de production, elle-même permise par l'augmentation de la demande, dans un processus auto-entretenu. Elle implique également des investissements considérables dans la publicité pour susciter la demande nouvelle, qui constituera un débouché futur pour le produit. Ce processus, par nature, présente un caractère asymétrique. Ainsi, une hausse des revenus sera susceptible de susciter un accroissement du taux d'équipement, mais à l'inverse, une baisse de pouvoir d'achat au sein de la population n'entraînera pas nécessairement une baisse de ce dernier, mais plutôt un ralentissement ou une stabilisation. La raison de cette asymétrie réside dans le fait qu'il s'agit d'un bien durable, que le consommateur peut conserver sans que cela lui coûte, à condition d'en réduire l'usage. Les dynamiques d'équipement et d'usage sont donc dans une large mesure dissociées, la seconde étant plus

sensible aux conditions économiques que la première. Le processus de diffusion entraîne donc une augmentation régulière du taux d'équipement, plus ou moins rapide selon le type de bien⁶².

Elle contient aussi implicitement l'idée de limite. On suppose généralement que la saturation d'un bien survient lorsque chaque individu – ou chaque ménage – est équipé du bien, ce qui revient à dire que l'utilité de posséder un objet en double ou en triple, est nettement inférieure à celle du premier équipement. Cette notion peut cependant se discuter au cas par cas. Dans le cas d'une machine à laver ou d'un réfrigérateur, par exemple, le seuil d'un équipement par ménage semble constituer la norme, ce qui tient à différentes raisons liées à la conception des appartements, à l'encombrement des appareils, ainsi qu'à la faible utilité d'équipements additionnels. Dans le cas des nouveaux objets technologiques – téléphones mobiles, ordinateurs, écrans de télévision – le seuil d'un objet par ménage a été allègrement franchi, et le seuil de saturation envisageable semble plutôt être celui d'un équipement par individu. Certains de ces appareils – téléphones, ordinateurs – ont d'emblée été conçus comme des équipements individuels. Pour d'autres, tels que la télévision et la voiture, la limite semble avoir été repoussée au fil du temps : initialement conçus comme des équipements du ménage, ils semblent avoir évolué au fur et à mesure vers celui d'équipements individuels. Dans le cas de la voiture, on suppose que le seuil de saturation théorique est désormais celui du véhicule individuel, mais que diverses entraves, notamment financières, peuvent limiter, pour une période déterminée ou indéterminée, l'atteinte de ce seuil. En effet, le principal gain procuré par la disposition de véhicules individuels plutôt qu'au niveau du ménage est l'accès à une autonomie complète, surtout pour les déplacements vers le travail. De ce fait, l'utilité de véhicules supplémentaires au-delà du seuil d'un véhicule par personne apparaît limitée. En outre, les voitures sont des objets encombrants qui requièrent de disposer de places de stationnement privatives, nécessairement coûteuses. Les politiques visant à limiter l'usage de la voiture en ville rendent d'ailleurs le stationnement de plus en plus problématique, au moins pour les personnes résidant au sein des agglomérations.

Une manière de contourner le problème du choix de niveau pertinent de rattachement du bien durable que constitue l'automobile – l'individu ou le ménage – consiste à considérer que le processus de diffusion de l'automobile est en fait constitué par la diffusion successive de deux biens de nature différente : la diffusion du véhicule principal du ménage, puis celle du véhicule du conjoint et des véhicules additionnels. *Collet et al. (2013)* montrent ainsi que la seconde voiture a pris le relais du premier équipement dans la diffusion sociale de l'automobile. Ces biens se diffusent selon cet ordre de priorité en fonction de l'évolution des ressources des ménages. De ce fait, la diffusion du second véhicule pour le conjoint, ou des véhicules additionnels pour les enfants majeurs demeurant au domicile parental, présentent un retard sur la diffusion du véhicule principal, car elles ont commencé plus tardivement. Ainsi, on ne remet pas en cause le seuil d'un équipement par ménage, mais on considère plusieurs cycles de diffusion relatifs à des biens de nature différente se succédant selon une temporalité décalée. Cette manière de voir présente l'avantage d'être cohérente avec l'évolution des mentalités : la voiture n'a pas été d'emblée perçue comme un équipement individuel, mais cette perception s'est imposée au fil du temps avec la

⁶² Les études sur ce sujet tendent à montrer que la diffusion des innovations au sein d'une société de consommation mature est beaucoup plus rapide que par le passé. Ainsi, tandis que la diffusion de l'automobile s'est poursuivie pendant près d'un siècle, celle des *smartphones* et des tablettes tactiles, par exemple, a été extrêmement rapide, et les marchés sont sans doute déjà proches de la saturation moins d'une décennie après l'introduction de ces innovations. L'accélération de la diffusion des nouveaux biens découle à la fois de leur faible coût, qui les rend aisément accessibles à la majeure partie de la population, et d'un accroissement du consentement général du public à recevoir favorablement les innovations.

nécessité perçue pour le conjoint, puis éventuellement pour les enfants majeurs demeurant au foyer parental, d'avoir leur propre véhicule, en lien avec l'évolution des conditions de vie (activité professionnelle des femmes, études prolongées...). Selon cette manière de voir, la diffusion du véhicule principal du ménage, très avancée, est proche de la saturation, et celui-ci peut être considéré comme un bien de première nécessité, tandis que le second véhicule, généralement attribué au conjoint, demeure un bien de statut encore intermédiaire, dont l'acquisition reste évaluée au regard des besoins et de la capacité financière du ménage.

Il y a néanmoins de fortes raisons de penser que le seuil de saturation effectif diffère de ce seuil théorique, et qu'il surviendra nettement en-deçà d'un véhicule par personne. Compte tenu en effet des coûts d'acquisition et d'usage de l'automobile, des entraves financières à la disposition d'un véhicule personnel sont susceptibles de subsister au moins pour une partie de la population, surtout si les conditions économiques continuent de se dégrader avec un accroissement des inégalités. En outre, l'utilité de la disposition d'un véhicule personnel n'est pas toujours avérée, notamment pour les personnes résidant au sein des zones urbaines, qui n'ont pas les moyens d'effectuer de fréquents déplacements à longue distance en-dehors de l'agglomération. Même dans ce cas, de nombreux citoyens tendent de plus en plus à privilégier des systèmes de location de véhicules ou les « nouveaux services à la mobilité » (auto-partage, covoiturage...) sur le schéma traditionnel de possession d'un véhicule personnel, dans la mesure où ces déplacements revêtent un caractère occasionnel plutôt que régulier. De ce fait, un certain degré d'hétérogénéité devrait toujours subsister dans la diffusion de l'automobile, alors même que celle-ci tendrait à devenir moins sensible à l'évolution des conditions économiques en raison de l'atteinte d'un seuil de saturation.

Le statut d'un bien d'équipement ne peut donc pas être considéré comme fixé une fois pour toutes. Il évolue au fil du temps en suivant les différentes étapes de son processus de diffusion, passant graduellement du statut d'un bien supérieur à celui de bien intermédiaire, puis de bien intermédiaire à celui de bien de première nécessité, dont la privation est synonyme d'exclusion. Le statut d'un bien se rapporte tout à la fois à son degré de nécessité perçue, qui évolue en fonction à la fois des besoins objectifs de mobilité mais également des normes sociales implicites en matière de consommation et de modes de vie, et aux entraves financières qui limitent la possession, en faisant un privilège réservé à une minorité, ou au contraire une aménité accessible au plus grand nombre.

Dans le cas de l'automobile comme d'autres biens d'équipement durable, ces deux dimensions sont indissociables. Au cours du temps, l'automobile a ainsi évolué du statut d'un produit de luxe réservé à une élite, qu'elle possédait encore avant la seconde guerre mondiale, vers un bien devenu financièrement accessible pour une majorité, sous l'influence de plusieurs facteurs, qui ont déjà été relevés : industrialisation de la production favorisant les économies d'échelle, développement du marché de la revente, prix du carburant modérés, élévation générale du pouvoir d'achat, etc. Cependant, dans le même temps, en se banalisant, la disposition d'un véhicule personnel a été de plus en plus perçue comme une nécessité, pour des causes qui ont également été identifiées : activité professionnelle des femmes, urbanisation de plus en plus diffuse, etc. En outre, à mesure que l'automobile se diffuse, ce qui était à l'origine un moyen de distinction sociale et de différenciation symbolique finit par revêtir le caractère d'une norme sociale, que tout un chacun se doit de posséder.

Il est important de remarquer que le processus de diffusion ne s'applique pas à une population constante, constituée des mêmes individus, mais à une population changeante, par le jeu des

naissances, des migrations et des décès. Or, le renouvellement de la population joue un rôle fondamental dans le processus de diffusion. En effet, si la population ne se renouvelait pas, il est vraisemblable que la diffusion de l'automobile n'aurait pas atteint un seuil élevé, car celle-ci est toujours demeurée en retrait dans les générations plus anciennes, pour les raisons déjà mentionnées. Comme on l'a observé précédemment, la diffusion d'un équipement ne dépend pas seulement du relâchement des contraintes financières par lesquelles elle pourrait être limitée, mais repose également sur le relâchement des entraves « sociétales ». Aussi, l'innovation technico-économique, industrielle ou « servicielle », nécessite-t-elle généralement un travail de transformation en profondeur des sociétés pour les préparer à accueillir favorablement les innovations. Aussi la société industrielle et marchande a-t-elle toujours besoin du mythe du progrès, qui la condamne à une fuite en avant. Il ne suffit pas, en effet, d'inventer de nouveaux produits, si ces derniers sont privés de débouchés. Parfois, il est nécessaire d'attendre une génération ou même davantage pour que les évolutions puissent être reçues favorablement, de sorte que ce qui paraît révolutionnaire à une génération – et potentiellement inacceptable – paraisse normal, et même souhaitable, pour la génération suivante, grâce à une déconstruction patiente des cadres traditionnels de pensée et de comportement et à l'implantation de nouvelles croyances. La capacité d'un public déterminé à accueillir favorablement une innovation technique dépend en effet du rapport entre l'image du bien/service et son éducation, de son milieu d'origine et d'appartenance, de son système de valeurs, et non pas seulement de facteurs économiques.

Le rôle fondamental des effets de génération témoigne tout à la fois de ce processus lent de transformation des sociétés, sans lesquels la diffusion des innovations s'avérerait soit impossible, soit limitée, et de la force des résistances au changement⁶³. L'automobile constitue un cas exemplaire dans la mesure où des transformations sociétales importantes ont été nécessaires pour permettre son plein déploiement, et en particulier son individualisation. Dans les générations les plus anciennes, l'automobile n'apparaissait probablement pas encore comme un bien de première nécessité au sein de la majeure partie de la population. De ce point de vue, la seconde guerre mondiale a réellement représenté la transition entre deux mondes radicalement différents, que les personnes ayant grandi avant la guerre et y ayant survécu peuvent avoir eu du mal à accepter.

Dans le cas de la diffusion de l'automobile, l'importance des effets de génération est de plus fondamentalement liée à l'indifférenciation progressive des rôles de genre, dont les causes sont partiellement économiques, mais résultent aussi d'un projet de transformation sociale. Aussi, l'érosion des différences de genre est susceptible de recevoir une double interprétation. L'interprétation sociétale a déjà été largement développée. Une interprétation économique se rapporte au fait de considérer le premier et le second véhicule du ménage comme des biens de nature différente ayant fait l'objet d'une diffusion en deux vagues successives, qui n'ont pas atteint la même étape du processus, le premier étant déjà un bien courant tandis que le second constitue encore un bien intermédiaire. Cette interprétation de niveau ménage est recevable parce que le statut de l'automobile est encore intermédiaire entre celui d'un équipement de niveau ménage et d'un équipement de niveau individuel, remplissant à la fois des fonctions collectives - déplacements de loisirs réalisés en commun, notamment - et des fonctions individuelles (déplacements vers le travail). Cependant, le statut du premier véhicule comme celui du second véhicule est relatif à l'atteinte d'une certaine étape du processus de diffusion, et la relative spécialisation des véhicules, également soulignée par Roux (2012) sur la base d'une analyse des nombres d'usages déclarés des véhicules dans l'enquête *ParcAuto*, ainsi que par Papon et al. (2010), pourrait disparaître avec l'individualisation complète de l'équipement automobile⁶⁴.

⁶³ Nous disons cela sans porter de jugement moral sur le caractère souhaitable ou non-souhaitable du changement.

⁶⁴ Le nombre d'usages par véhicule tend ainsi à décroître (Roux, 2012). Nous reviendrons sur cette question dans la

II.2.b.5) La question des véhicules additionnels : enfants majeurs, véhicules spécialisés pour les loisirs

Au-delà du premier et du second véhicules, la proportion de ménages disposant de trois véhicules ou plus a augmenté au cours du temps, jusqu'à atteindre un niveau d'environ 5 %, mais semble se stabiliser depuis le milieu de la décennie 2000, d'après les données de *ParcAuto* (Source : INSEE d'après CCFA-TNS-SOFRES-ADEME-INSEE-SOeS, cf. section I.2.c.1). Cette tendance recouvre principalement deux types de phénomènes. Tout d'abord, la présence de plus en plus fréquente d'enfants majeurs au domicile parental est susceptible de renforcer la tendance au suréquipement. En effet, pour différentes raisons, la décohabitation se fait plus tardive, ainsi que nous l'avons déjà relevé. Pour autant, les jeunes adultes demeurant au foyer parental développent des activités à l'extérieur du domicile, pour lesquelles la voiture peut devenir nécessaire, afin de leur permettre d'être autonome dans leurs déplacements. Par ailleurs, une proportion croissante de ménages souhaite pouvoir disposer d'un véhicule spécialisé, dont l'usage est réservé aux déplacements longs et occasionnels, en dehors des déplacements contraints de la vie quotidienne, ce qui se traduit par une certaine proportion de ménages disposant de plus de voitures que de titulaires du permis de conduire. Cette situation, qui est fréquente aux Etats-Unis, mais demeure encore relativement rare en France et en Allemagne (Hivert et al., 2008), pourrait, si elle se confirmait, entraîner à moyen terme une augmentation du taux d'équipement au-delà du seuil d'un véhicule par adulte. Cependant, la proportion de ménages comportant plus de voitures que de détenteurs du permis de conduire tend à plafonner depuis 2006 (cf. encadré dans II.2.a.1).

II.2.c) Des besoins qui augmentent, des contraintes financières qui s'accroissent

II.2.c.1) L'usage de la voiture entre besoins, contraintes et préférences

Compte tenu des analyses qui précèdent tant sur les déterminants du permis de conduire que sur ceux de la motorisation des adultes et de leur usage des véhicules, l'usage moyen de la voiture peut être vu comme le reflet d'un équilibre entre l'évolution des besoins, des contraintes et des préférences individuelles. En effet, les déterminants du permis de conduire font apparaître le rôle des mentalités ainsi que de la participation des femmes à l'activité professionnelle et de l'urbanisation, traduisant une augmentation de l'utilité perçue de la détention du permis de conduire au cours du temps. Mais en outre, les entraves, notamment financières ou résultant d'un faible niveau d'instruction, à l'accès au permis de conduire ont globalement eu tendance à se réduire au fil du temps. De même, les besoins de motorisation des détenteurs du permis n'ont cessé d'augmenter, en lien avec l'évolution des formes urbaines et la participation des femmes à l'activité professionnelle, tandis que les entraves financières à l'acquisition d'un véhicule par le ménage, puis d'un second véhicule, ont plutôt eu tendance à diminuer, avec l'augmentation du pouvoir d'achat d'une part, la baisse des prix des véhicules résultant du développement du marché de la revente, d'autre part. La diffusion grandissante du permis de conduire a elle-même constitué un facteur contribuant à réduire les entraves à la disposition d'un véhicule personnel. Enfin, un niveau élevé d'usage des véhicules était favorisé par un prix du carburant modéré faisant suite au contre-choc pétrolier du milieu des années 1980. Selon cette hypothèse, le plafonnement de l'usage de la voiture dans les années 2000 peut être vu comme le signe d'un retournement dans la dynamique de long terme des besoins, des contraintes et des préférences. Ainsi, après des décennies d'augmentation des besoins associée à un relâchement des contraintes susceptibles d'entraver l'usage de la voiture et une orientation des préférences des ménages vers des modes de

vie plébiscitant l'automobile, les contraintes susceptibles de limiter l'usage de la voiture se sont renforcées, et certains signes d'une évolution des préférences individuelles sont apparus. Ces tendances sont renforcées par l'approche de la saturation dans les niveaux de diffusion du permis de conduire et d'un véhicule personnel. Parallèlement, la période des années 2000 pourrait être caractérisée par une augmentation paradoxale des besoins, résultant de difficultés économiques au sens large.

	1977- 1982	1983- 1988	1989- 1994	1995- 2000	2001- 2006	2007- 2010	2011- 2013
Taux de motorisation des adultes	44,3 %	50,6 %	55,2 %	61,3 %	66,8 %	71,6 %	73,0 %
Taux de détenteurs du permis de conduire simulé	71,3 %	76,7 %	81,3 %	84,3 %	86,3 %	88,1 %	89,5 %
Taux d'emploi des adultes dans les ménages dont la PR a entre 25 et 65 ans	62,0 %	62,0 %	63,8 %	63,0 %	66,6 %	71,3 %	77,3 %
Proportion d'adultes actifs résidant au sein des espaces d'urbanisation diffuse	36,6 %	37,5 %	39,9 %	38,4 %	41,1 %	43,7 %	43,3 %
Revenu réel par UC (en € constants 2013)	15 629	15 753	17 257	18 827	19 425	19 900	19 892
Indicateur de prix réel des carburants (base 100 en 1974)	104	101	90	99	112	126	142
Indicateur de pouvoir d'achat énergétique	15 028	15 597	19 174	19 017	17 344	15 794	14 008

Tableau 2 : indicateurs par périodes, de 1977 à 2010

Source: Panel ParcAuto, Enquêtes Conjoncture auprès des ménages, Recensements de la population

Pour illustrer la plausibilité d'une telle interprétation, on a représenté dans le tableau 2 l'évolution de différents indicateurs représentatifs de l'évolution des besoins de mobilité et des contraintes susceptibles d'en entraver la satisfaction. La période qui s'étend de 1977 à 2013 a ainsi été divisée en six sous-périodes, les cinq premières faisant six années chacune, l'avant-dernière quatre ans, et la dernière trois ans, en raison de l'intérêt spécial porté à la période récente. Les variables reportées sont les suivantes :

- Le taux de motorisation des adultes – défini comme le nombre de voitures par adulte ;
- Le taux de détenteurs du permis de conduire simulé. Comme le taux de permis de conduire n'est connu que pour la période 1993-2010 couverte par les enquêtes annuelles *ParcAuto*, le taux de permis de conduire dans les Enquêtes Conjoncture auprès des ménages (ECAM), qui couvrent la période 1977-94, ont été simulés sur la base des taux par génération observés dans *ParcAuto* pour les personnes âgées de plus de trente ans⁶⁵ au moment où elles ont été enquêtées. Les générations, au nombre de vingt-deux, sont elles-mêmes définies comme des intervalles de cinq ans, la première étant née entre 1885 et 1890, et la dernière après 1990 ;
- Le taux d'emploi des adultes dans les ménages dont la personne de référence a entre vingt-cinq et soixante-cinq ans. Cet indicateur traduit notamment la participation croissante des femmes au marché du travail. Là encore, le seuil minimal de vingt-cinq ans a été établi de manière à disposer d'un taux d'activité pendant la période où la majeure partie de la

⁶⁵ De manière à avoir un taux de détenteurs du permis de conduire stabilisé au sein d'une génération. En effet, dans le cas contraire, le taux de permis tend à être sous-estimé chez les jeunes adultes, ce qui conduit également à sous-estimer la progression du taux de permis dans l'ensemble de la population, car ce qui est en réalité un effet d'âge, témoignant d'un taux qui n'est pas encore stabilisé, est faussement interprété comme un effet de génération.

population adulte est sur le marché du travail, ayant achevé ses études ;

- Un indicateur de distribution spatiale des actifs au lieu de résidence, à savoir la proportion d'entre eux qui résident au sein des espaces d'urbanisation diffuse ;
- Le revenu moyen par unité de consommation, corrigé de l'inflation, en € 1984, en utilisant l'échelle d'Oxford⁶⁶ pour des raisons de continuité avec les ECAM ;
- Un indicateur annuel de prix du carburant, les prix du gazole et de l'essence étant pondérés en fonction de la structure du parc de véhicules ;
- Un indicateur de pouvoir d'achat énergétique moyen, défini comme le revenu réel déflaté de l'indice des prix des carburants.

II.2.c.2) Depuis les années 2000, un renforcement des contraintes financières avec l'augmentation des prix des carburants d'abord, puis avec la crise économique

A long terme, les contraintes entravant l'accès à un niveau élevé d'usage de la voiture se sont continuellement relâchées. Cependant, un examen rapide de l'évolution des contraintes financières associées à l'usage de la voiture permet de distinguer trois périodes. Du milieu des années 1970 au début des années 1990, le pouvoir d'achat énergétique moyen a augmenté, tout d'abord en raison de l'augmentation des revenus, amplifiée à partir du milieu des années 1980 par le contre-choc pétrolier, entraînant la baisse des prix des carburants. Ensuite, pendant les années 1990, le pouvoir d'achat énergétique est demeuré approximativement stable, l'augmentation des revenus tendant à compenser celle des prix des carburants. Enfin, le pouvoir d'achat énergétique est en chute libre depuis le tournant du millénaire, en raison de prix du carburant dont la hausse s'est accélérée, jusqu'à atteindre un record historique en 2012, puis de la stagnation des revenus qui a suivi la crise économique à partir de 2009. Cependant, l'augmentation des contraintes financières pour les ménages est aussi susceptible de provenir d'autres postes de dépenses, en l'occurrence les prix de l'immobilier qui ont fortement augmenté à partir de la fin des années 1990 et tout au long de la décennie 2000 (Rougerie et Friggit, 2010), dont a sans doute résulté un effet de richesse subjective hétérogène, selon que les ménages ont fini ou pas de rembourser leurs emprunts. Etant donné que ces dépenses sont inélastiques, elles sont susceptibles d'avoir renforcé la pression budgétaire sur les dépenses de transports et d'avoir représenté une incitation à réduire les déplacements ne présentant pas un caractère indispensable dans les nouvelles générations ayant encore des remboursements d'emprunts en cours⁶⁷.

II.2.c.3) La diffusion du permis de conduire et de l'automobile se rapproche de la saturation

En parallèle, une autre entrave à l'usage de la voiture s'est levée, avec les proportions croissantes d'adultes disposant du permis de conduire, ainsi que de l'accès à un véhicule personnel. Ainsi, la proportion simulée de détenteurs du permis de conduire affiche une progression de 71,3 à 89,5 %

⁶⁶ Soit 1 pour le premier adulte, 0,7 pour les autres adultes et 0,5 pour les enfants de moins de quatorze ans.

⁶⁷ Des analyses transversales suggèrent que les arbitrages entre dépenses de logement et de transport sont limités (Coulombel et Leurent, 2013). Elles mériteraient toutefois d'être complétées par des études longitudinales, qui sont susceptibles de produire des résultats différents.

entre les périodes 1977-82 et 2011-13. De même, la proportion d'adultes motorisés s'est accrue de 44,3 à 73,0 % de l'ensemble de la population. Cependant, la diffusion du permis de conduire et de l'automobile tend maintenant à ralentir : la proportion d'adultes détenteurs du permis de conduire n'a ainsi progressé que de trois points dans l'espace de la dernière décennie, entre les périodes 2001-06 et 2011-13, tandis que le taux de motorisation des adultes, après une progression très rapide jusque vers le milieu de la décennie 2000, tend également à plafonner depuis lors. Ces résultats pourraient constituer le signe que les niveaux de diffusion du permis de conduire et d'un véhicule personnel se rapprochent maintenant de la saturation⁶⁸.

II.2.c.4) Une augmentation paradoxale des besoins

Au fil des décennies, depuis la seconde guerre mondiale jusqu'à la fin du millénaire, les besoins de mobilité n'ont cessé de progresser, pour des raisons déjà mentionnées – travail des femmes, urbanisation de plus en plus diffuse⁶⁹ – raisons auxquelles on ajoutera également :

- Le passage d'une société paysanne à une société industrielle, puis tertiaire, dominée par le travail salarié. Cette transition a notamment entraîné un découplage entre les lieux de résidence et d'activité, qui étaient autrefois confondus dans les sociétés agricoles traditionnelles ;
- La démocratisation des mobilités de loisirs, d'abord à travers les grandes migrations saisonnières estivales et hivernales, puis par un étalement des mobilités de loisirs tout au long de l'année, sous l'effet à la fois de l'augmentation des mobilités de loisirs des retraités, qui ne sont pas contraints par les périodes scolaires, et des mesures de réduction du temps de travail.

Dans le même temps, la voiture bénéficiait d'une image positive en tant que vecteur d'autonomie, de flexibilité, d'efficacité. L'ensemble de ces facteurs a produit un contexte favorable au développement de l'usage de la voiture.

⁶⁸ Les niveaux de saturation dans la diffusion de l'automobile demeurent matière à débat. Ainsi, le seuil de saturation a d'abord été considéré comme devant être d'un véhicule par ménage, avant d'être rehaussé au niveau d'un véhicule par adulte sachant conduire. Néanmoins, *Collet et al. (2013)*, en utilisant des courbes logistiques pour simuler des seuils de saturation à long terme de l'équipement automobile des ménages, ont estimé un niveau de saturation nettement inférieur autour de 0,76 voitures par adulte au niveau des prix du carburant de 2010, pouvant s'expliquer par d'autres raisons limitant la diffusion de l'automobile, telles qu'un habitat en ville caractérisé par l'absence de besoin d'une voiture ainsi que par des difficultés importantes de circulation et de stationnement.

⁶⁹ Celle-ci s'est réalisée en plusieurs vagues, d'abord *via* la construction des grands ensembles périphériques d'habitat social encore relativement proches des cœurs de ville, puis *via* les quartiers d'habitat pavillonnaire qui se sont développés, pour partie au sein des agglomérations, mais aussi pour partie à l'extérieur, constituant l'habitat dit périurbain. Les causes d'évolution des formes de l'urbanisation sont multiples. Elles incluent, certes, l'impact de la diffusion de l'automobile, dans un processus auto-entretenu, mais également le désir des ménages d'accéder à un meilleur habitat avec un niveau de confort plus élevé, ainsi que d'enracinement et de qualité de vie, sans doute nourri par le souvenir encore vivace de la maison paysanne traditionnelle après-guerre, dont l'habitat pavillonnaire représentait d'une certaine manière le substitut moderne. Enfin, le filtrage opéré par les marchés immobiliers y contribue sans doute aussi, l'urbanisation se développant par débordement sur les territoires périphériques.

Les indicateurs ci-dessus illustrent l'augmentation continue des besoins, qui s'est paradoxalement prolongée, voire accélérée au cours de la période récente, bien que celle-ci soit également caractérisée par le renforcement des contraintes financières, et en dépit des tendances à la saturation de l'équipement automobile. Ainsi, le taux d'activité des personnes en âge de travailler – entre vingt-cinq et soixante-cinq ans – n'a jamais cessé de progresser, une croissance qui s'est même accélérée pendant la dernière décennie, avec un taux d'activité passant de 63,0 % dans la période 1995-2000 à 77,3 % entre 2011 et 2013. Cette évolution, paradoxale, pourrait être un résultat de l'augmentation des contraintes financières ayant suivi la crise économique, qui incitent davantage d'adultes – en particulier les femmes – à trouver un emploi pour maintenir le niveau de revenu du ménage. La proportion d'actifs résidant au sein des zones d'urbanisation diffuse a aussi toujours augmenté, induisant leur dépendance automobile croissante. A nouveau, cette tendance semble s'être accélérée à partir des années 2000, une évolution qui pourrait résulter de l'augmentation des prix immobiliers, poussant les ménages des classes moyennes à migrer vers les communes périurbaines. Par conséquent, la période des années 2000 pourrait être, paradoxalement, une période d'augmentation des besoins d'usage de la voiture, résultant des tensions sur les marchés immobiliers et des pressions budgétaires induites par la récession ayant suivi la crise financière de 2008.

Selon les termes de cette analyse, la période actuelle pourrait donc être une période de contradiction intense entre l'évolution des besoins de mobilité individuels, qui seraient paradoxalement en forte augmentation, et des contraintes financières accrues qui limiteraient la capacité des ménages à réaliser ces besoins.

Mais par ailleurs, les opinions et les attitudes individuelles à l'égard de la voiture ont également tendance à évoluer, ainsi que le suggère la revue de la littérature (*cf. section II.1.a*). Cette évolution des mentalités, qui va dans le sens d'une rationalisation des comportements, pourrait également découler au moins partiellement des conditions économiques. Mais l'évolution des préférences et des opinions est aussi susceptible d'avoir évolué sous l'influence d'autres facteurs, tels que le durcissement des politiques publiques à l'égard de la voiture - que ce soit en matière de stationnement, de sécurité routière, ou encore de fiscalité - ainsi que le discours politico-médiatique général, qui lui est devenue largement défavorable et qui en pointe systématiquement les nuisances, notamment environnementales, sans jamais en souligner les avantages pour le public, en termes de flexibilité, d'autonomie, d'équité sociale et territoriale.

II.2.d) Dépendance automobile et vulnérabilité aux augmentations de prix de l'énergie

Cette évolution entraîne cependant aujourd'hui un risque de vulnérabilité énergétique des ménages résidant dans le périurbain et en zone rurale, compte tenu de prix des carburants désormais nettement plus élevés en moyenne et de pics répétés dans le niveau des prix, par exemple mi-2008 ainsi qu'en 2012.

La dépendance automobile, combinée avec l'augmentation des prix des carburants, remet en question l'accès à la ville, ces contraintes pesant de plus en plus sur les résidents des espaces d'urbanisation diffuse, en particulier les classes moyennes qui y sont massivement représentées, ces ménages étant conduits à revoir leur mobilité à la baisse pour stabiliser leur effort budgétaire (*Vanco, 2012*). En 2006, les ménages dits « vulnérables », consacrant plus de 20 % de leur budget à la mobilité quotidienne, représentaient ainsi par exemple 18 % des ménages de l'aire métropolitaine lyonnaise. Il s'agit principalement d'ouvriers (36%) et d'employés (21%), la moitié d'entre eux étant constituée de familles, et ils sont surtout situés dans les territoires périurbains.

En cas de doublement des prix de l'essence en euros constants, ce seraient 50 % de ménages en plus qui passeraient à l'état de vulnérabilité sur l'agglomération lyonnaise.

Encadré 7 : la perception de la dépendance automobile d'après l'ENTD

En dépit des alternatives à la possession d'un véhicule personnel, qui ont connu un essor important au cours de la précédente décennie (*cf. section 1.3.b.4*), les ménages demeurent largement tributaires de l'automobile. La dépendance automobile perçue peut être approchée à travers une question faisant ressortir les perceptions concernant l'existence d'alternatives à la voiture pour se rendre à son travail dans l'ENTD. Ainsi, parmi les navetteurs, 73 % déclarent utiliser seulement un mode motorisé privé – voiture ou deux-roues motorisé – pour se rendre à leur travail. De plus, parmi les navetteurs n'utilisant qu'un mode motorisé privé, trois sur cinq déclarent ne pas avoir le choix d'un autre moyen de transport (59%), 29 % déclarent avoir le choix mais ne pas l'utiliser, et seulement un sur huit seulement avoir le choix et l'utiliser. Par ailleurs, 45 % des navetteurs utilisant d'autres modes le font par absence de choix (*Armoogum et al., 2010*). La perception de l'existence de choix décroît de plus avec la distance de déplacement. Elle est maximale pour des distances comprises entre un et trois kilomètres, tandis qu'à l'inverse, un actif sur trois seulement déclare avoir le choix d'un mode de transport alternatif à la voiture pour des déplacements de plus de dix kilomètres et moins d'un actif sur cinq au-delà de vingt kilomètres. Ce n'est que pour les trajets les plus longs que la perception de l'existence de choix remonte, ce qui peut s'expliquer par un effet d'auto-sélection, dans la mesure où les ménages ne consentiront à effectuer des trajets aussi longs qu'en présence d'alternatives ferroviaires, les abonnements permettant dans ce cas de maîtriser les coûts de la mobilité. La perception d'alternatives à l'automobile sur très longs trajets est cependant spécifique aux résidents des très grandes agglomérations, notamment l'agglomération parisienne. Cependant, la perception de l'existence de choix n'entraîne pas toujours une modification effective des pratiques. Ainsi, ceux qui utilisent de préférence la voiture pour se rendre à leur lieu de travail sont conscients de l'existence d'alternatives sans nécessairement les utiliser (*Armoogum et al., 2010*). Les alternatives déclarées par les enquêtés demeurent donc d'une certaine manière « abstraites » et ne sont pas envisagées comme des choix « opérationnels », peut-être parce qu'elles impliquent des contraintes supplémentaires, qui ne sont pas forcément intégrées dans les réponses théoriques sur l'existence d'alternatives, mais le sont seulement au stade de la prise de décision⁷⁰.

Les conséquences sociales de l'augmentation des prix de l'énergie captent de plus en plus l'attention des pouvoirs publics, ainsi que des acteurs économiques et des chercheurs. Cette question tend pour l'instant à être davantage envisagée sous l'angle du risque que des répercussions déjà sensibles sur le budget des ménages et leur mobilité. C'est toute la problématique de la *vulnérabilité*, dans laquelle on s'interroge sur la capacité d'adaptation des ménages et/ou des territoires face à divers scénarios de hausse future des prix des carburants, dans un contexte caractérisé par une forte incertitude en raison des tendances lourdes qui contribuent à une évolution durablement orientée à la hausse des prix des énergies fossiles :

- La raréfaction des énergies fossiles au-delà du « *peak oil* » : la production mondiale décline, les ressources deviennent de plus en plus difficiles et coûteuses à extraire, avec des rendements marginaux décroissants ;

⁷⁰ Des exercices de simulation dans lesquels les individus sont mis en situation réelle et contraints de faire un choix, comme dans les enquêtes de préférences déclarées, constituent un moyen potentiel de dépasser ce biais.

- L'accroissement de la demande mondiale : en dépit des efforts importants consacrés par les pays développés à la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre et de leur consommation énergétique, ces derniers sont largement compensés par l'explosion de la demande en provenance des pays « émergents » (Chine, Inde, Russie, Amérique du Sud...), portée par une forte croissance économique et démographique et une diffusion rapide de l'automobile dans des marchés encore très éloignés de la saturation ;
- L'instabilité du contexte géopolitique mondial, caractérisé notamment par la déstabilisation d'un grand nombre d'Etats pétroliers au Moyen-Orient et en Afrique (par exemple avec l'expansion de l'Etat Islamique en Irak et en Syrie) ;
- L'accroissement de la fiscalité des carburants, qui constituent une source de financement commode pour les gouvernements et moins visible par les contribuables, dans la mesure où la fiscalité est incluse dans le prix payé par le consommateur ;
- L'intensification de la spéculation internationale en provenance notamment des investisseurs institutionnels (banques, assurances...) et autres opérateurs de marché pour lesquels les matières premières sont devenues des actifs parmi d'autres dans la gestion de portefeuilles de valeurs pour le compte de leurs clients.

A partir des données de *ParcAuto*, il est possible d'évaluer l'effet des variations de prix des carburants sur la proportion de ménages potentiellement concernés par une situation de précarité énergétique. Une approche normative, inspirée de *Nicolas et al. (2012)*, peut être utilisée afin de déterminer un seuil de vulnérabilité des ménages en fonction du coefficient budgétaire consacré aux dépenses en carburant, c'est-à-dire la part de leur revenu que les ménages consacrent à ces dépenses. Des calculs de taux d'effort ont été réalisés à partir des enquêtes *ParcAuto* de 1993 à 2010 de manière à déterminer l'impact de l'augmentation tendancielle et de la volatilité des prix des carburants pendant cette période. Les consommations de carburant des ménages sont obtenues comme la somme des consommations de carburant des véhicules dont ils disposent, qui peuvent elles-mêmes être estimées à partir des consommations unitaires (en l/100 km) et des distances annuelles parcourues par chaque véhicule du ménage. Les budgets en carburant sont estimés comme le produit des consommations de carburant de chaque véhicule multipliées par les prix des carburants utilisés pour chaque véhicule en fonction du type de motorisation (*essence/diesel/GPL*). Lorsque le type de motorisation est inconnu, on applique un prix du carburant calculé comme la moyenne générale des prix des carburants. Le taux d'effort en carburant est alors obtenu pour chaque ménage en divisant le budget en carburant du ménage par son revenu. Enfin, comme précédemment, des indices d'inflation sont utilisés afin de prendre en compte l'érosion monétaire des budgets en carburant en termes réels.

Une vulnérabilité croissante, particulièrement dans les zones d'urbanisation diffuse et parmi les ménages modestes

En fin de compte, on examine les effets de l'augmentation des prix des carburants sur la vulnérabilité des ménages, ainsi que la différenciation de ces effets selon le type de zone de

résidence et le niveau de vie. Des taux de vulnérabilité – ou proportions de ménages vulnérables – sont estimés à partir de deux définitions différentes de la vulnérabilité. Dans la première définition, la vulnérabilité est supposée dépendre uniquement du taux d'effort en carburant. En nous inspirant de la démarche adoptée dans *Nicolas et al. (2012)*, nous définissons un seuil de vulnérabilité empirique de 7 %, correspondant à un décrochement dans la distribution des taux d'effort. Ce seuil correspond approximativement au double du coefficient budgétaire moyen qui est de 3,6 %, déterminant une proportion de ménages vulnérables évaluée à 18,7 %, supposés être en situation de précarité énergétique potentielle. Dans la seconde définition, le critère sur le coefficient budgétaire est croisé avec celui du revenu disponible : en effet, un taux d'effort de 7 % pour les dépenses en carburant ne recouvre pas le même risque de précarité pour des ménages disposant d'un revenu élevé que pour des ménages pauvres, compte tenu de la différence de reste-à-vivre après déduction de l'ensemble des dépenses obligatoires. On définit par conséquent la vulnérabilité par la combinaison d'un critère de taux d'effort et d'un seuil de pauvreté relative⁷¹:

- Si le coefficient budgétaire associé aux dépenses en carburant est inférieur à 2 %, les ménages ne sont pas considérés comme vulnérables aux prix des carburants, qui ne constituent pas un poste significatif de leur budget ;
- S'il est compris entre 2 et 10 %, on considère que la vulnérabilité du ménage dépend de son niveau de vie. Dans ce cas, le ménage est considéré comme vulnérable si son reste-à-vivre après déduction des dépenses en carburant est inférieur au seuil de pauvreté relative ;
- S'il est supérieur à 10 %, alors le ménage est considéré vulnérable dans tous les cas. En effet, on peut alors supposer que même pour un ménage disposant de revenus élevés, un taux d'effort de 10 % représente un budget très élevé consacré aux dépenses en carburant, susceptible de le fragiliser dans son mode de vie et représentant une incitation à modérer l'usage de la voiture. Le ménage peut de plus être sérieusement affecté en cas de hausse des prix.

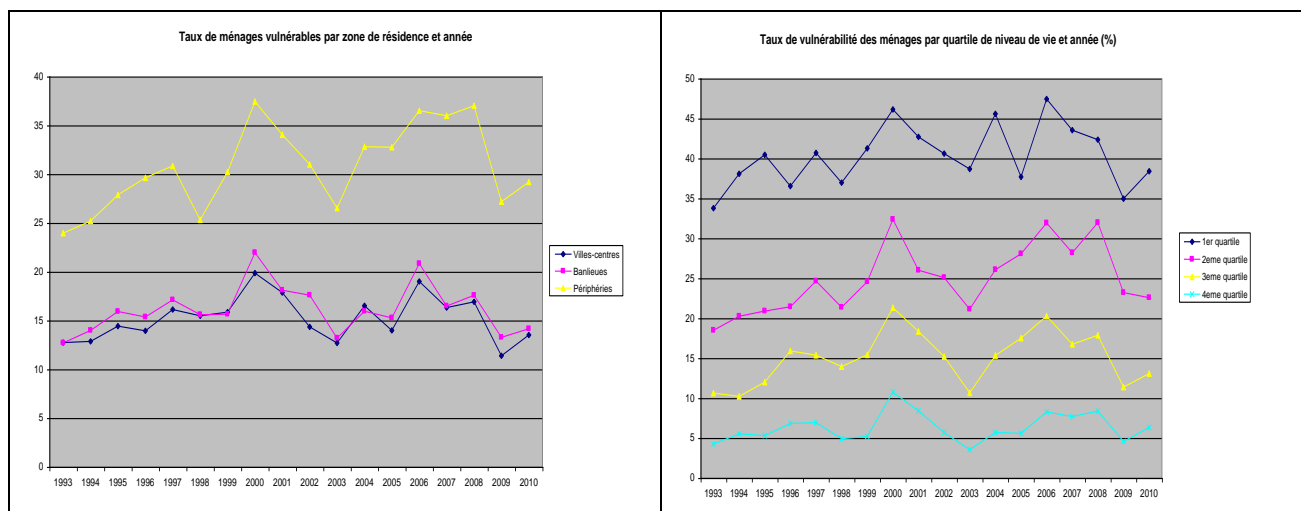
La seconde définition est plus restrictive, car davantage focalisée sur les ménages à faibles revenus, qui sont supposés être exposés à un risque plus élevé de précarité énergétique. Par conséquent, les taux de vulnérabilité estimés sur la base de cette définition sont également plus faibles qu'avec la première définition. Bien entendu, elle est également sujette à débat, dans la mesure où elle omet les ménages ayant de faibles dépenses en carburant parce qu'ils n'ont pas accès à un véhicule, que ce soit pour des raisons financières ou parce que ses membres n'ont jamais passé le permis de conduire. En dépit de taux d'effort réduits, ces ménages sont néanmoins susceptibles d'être fragilisés sur le plan social et économique, et dans leur capacité à satisfaire leurs besoins de mobilité. Cependant, ce choix est délibéré : ces ménages, en effet, entrent davantage dans le champ de définition des situations d'exclusion que dans celui de la vulnérabilité qui porte sur l'identification de risques potentiels de connaître une situation financière difficile consécutive à des coûts de mobilité élevés, susceptible de fragiliser la capacité des ménages à se déplacer.

Avec des coefficients budgétaires en augmentation, le taux de vulnérabilité – selon la définition non-restreinte – a augmenté rapidement de 1993 à 2000, de 16,7 à 27,2 % des ménages, puis a

⁷¹ Défini comme la moitié du revenu par unité de consommation médian.

décliné pour atteindre 18,3 % en 2003, avant de s'accroître à nouveau jusqu'à atteindre 26,4 % en 2006, puis de décliner à nouveau. En moyenne, la proportion de ménages vulnérables fluctue donc d'environ 10 points de pourcentage entre les périodes de prix faibles et les périodes de prix élevés. Avec la définition plus restreinte, davantage concentrée sur la population susceptible de constituer une cible prioritaire pour l'action publique, le taux de vulnérabilité fluctue entre 10 et 15 % selon la période. Bien que temporaires, les fluctuations des prix des carburants ont donc un impact qui est loin d'être négligeable sur la précarité énergétique.

Cependant, l'impact des fluctuations des prix sur la vulnérabilité se décline différemment selon le niveau de vie et la zone de résidence. Pour la période s'étendant de 1993 à 2010, le taux d'effort en carburant a toujours été plus élevé dans les espaces d'urbanisation diffuse, caractérisés par des niveaux d'usage de la voiture plus élevés. Dans ces zones, ils ont fluctué entre 5 et 6,5 % selon le niveau des prix. Comparativement, leur domaine de variation se situe entre 3 et 4,5 % du revenu des ménages chez les résidents des agglomérations. Le niveau élevé des coefficients budgétaires dans les zones diffuses s'explique non seulement par des consommations plus importantes, mais également par des revenus plus faibles en moyenne que ceux des résidents des zones urbaines. C'est aussi dans les espaces d'urbanisation diffuse, qui étaient déjà les zones les plus vulnérables en 1993, que la proportion de vulnérables a le plus augmenté, passant de 24 à 37 % des ménages entre 1993 et 2001, selon la première définition de la vulnérabilité. Dans les agglomérations, cette proportion a augmenté de 13 à plus de 20 % des ménages au cours de la même période. Par conséquent, bien que le taux de ménages vulnérables ait augmenté partout, le fossé entre les zones urbaines et les zones de faible densité s'est approfondi.



Graphique 21 : Taux de vulnérabilité des ménages, par zone de résidence et niveau de vie
Source : Panel ParcAuto TNS-SOFRES, SOeS-ADEME-IFSTTAR-CCFA

L'impact de prix du carburant en augmentation dépend aussi beaucoup du niveau de vie relatif. Bien évidemment, les taux d'effort en carburants ont toujours été plus élevés parmi les ménages à bas revenus, variant entre 6,4 % et 2,8 % en 1993 entre les quartiles inférieur et supérieur de revenu, et de 7,6 % à 2,9 % en 2010. De plus, la différence de taux d'effort augmente en période de prix élevés : ainsi, les coefficients budgétaires sont demeurés relativement stables dans le quartile supérieur, fluctuant entre 2,8 et 3,4 %, alors que leur plage de variation au cours du temps se situe entre 6,4 et 9,3 % dans le quartile inférieur. Les raisons associées à une plus grande

volatilité du taux d'effort pour les ménages à bas revenus résident dans un dénominateur (le revenu) plus faible, mais aussi dans une croissance plus importante du niveau de vie au sein du quartile supérieur, qui tend à compenser en partie l'augmentation des prix. Par conséquent, le taux de vulnérabilité est aussi beaucoup plus volatile pour les ménages à bas revenus, avec une augmentation de 33,8 à 47,4 % entre les périodes de prix bas et de prix hauts, à comparer avec une plage de variation nettement plus limitée – entre 4,2 et 10,8 % - pour les ménages à revenus élevés. Pour finir, le taux de vulnérabilité est le plus élevé pour les ménages modestes résidant au sein des espaces d'urbanisation diffuse, avec une augmentation de 41,9 à 61,4 % de la proportion de vulnérables entre 1993 et 2006.

Par conséquent, les répercussions les plus importantes de l'augmentation des prix des carburants se situent au sein des groupes déjà caractérisés par un niveau de risque élevé, à savoir les habitants des espaces de faible densité et les ménages à bas revenus. Pour autant, la proportion de ménages vulnérables résidant au sein des zones urbaines est loin d'être négligeable, compte tenu des taux d'urbanisation. Selon la définition restreinte, près de la moitié des ménages vulnérables résident au sein des zones urbaines, distribués de manière à peu près équivalente entre les villes-centres et les banlieues. Ce résultat doit être souligné dans le contexte de la conception de politiques publiques destinées à prévenir et/ou à lutter contre la précarité énergétique. Ces politiques ne devraient pas, en effet, être limitées aux espaces de forte dépendance automobile, même si le risque est plus important pour les résidents de ces zones. La plupart des situations de vulnérabilité sont en fait concentrées sur les ménages à faibles revenus, le premier quartile rassemblant presque 66 % de ménages vulnérables, contre seulement 3 % dans le quartile supérieur. Parmi les ménages vulnérables du quartile inférieur, 34,3 % vivent dans les zones peu denses, 17,3 % dans les villes-centres, 14,3 % dans les banlieues. Enfin, 11,5 % des ménages vulnérables appartiennent au second quartile et vivent dans les zones diffuses. Ensemble, ces quatre groupes représentent 77,4 % des ménages vulnérables. Par conséquent, les politiques publiques devraient cibler en priorité les ménages du quartile inférieur et les ménages du second quartile résidant dans les espaces de faible densité. Le poids des zones de faible densité au sein des situations de vulnérabilité s'est accru de 49,1 à 57,1 % entre 1993 et 2010 : l'augmentation des prix des carburants a probablement représenté une incitation puissante au changement des comportements, favorisé par la disponibilité d'alternatives dans les zones urbaines et tout particulièrement dans les villes-centres, mais plus difficile à mettre en œuvre dans les zones de faible densité.

Toutefois, cette approche ne prend pas en considération la résilience variable des populations et des territoires, dépendant de l'existence d'alternatives de transport efficaces et des formes urbaines, conférant un avantage relatif aux zones denses, fonctionnellement mixtes et centrales. On peut s'attendre à ce que la résilience supérieure des zones denses renforce la compétition sociale pour l'accès à ces territoires, en particulier aux villes-centres et à leurs banlieues proches, ce dont semblerait témoigner la tendance au regain d'attractivité démographique des zones en cœur d'agglomération depuis les années 1990.

II.3) Justification d'une approche emboîtée, individuelle et longitudinale de l'auto-mobilité

II.3.a) L'auto-mobilité comme une succession de choix emboîtés

Les analyses précédentes ont permis de mettre en évidence une relation directe entre la croissance du kilométrage moyen par adulte et celle du nombre de voitures par adulte, ainsi que le rôle crucial de l'évolution des prix de l'énergie dans l'évolution de l'usage des véhicules à partir des années 2000. Afin de dissocier les dynamiques sous-jacentes au processus de diffusion de l'automobile de celles qui concernent l'utilisation des véhicules, il est donc nécessaire de proposer un modèle articulant ces deux niveaux des comportements. En outre, le processus de diffusion de l'automobile est lui-même complexe et résulte, d'une part, de l'augmentation des titulaires du permis de conduire, d'autre part, de la proportion croissante d'entre eux qui disposent d'un véhicule personnel.

Cependant, bien souvent dans les modèles de la demande de transport, le processus de diffusion du permis de conduire et de l'automobile est latent plutôt qu'explicite. Il n'est par conséquent pas possible de séparer la diffusion de l'automobile des changements dans l'usage des véhicules par les individus/ménages motorisés. Pourtant, les déterminants de chacune de ces composantes divergent. En particulier, la littérature montre que les effets de génération jouent un rôle décisif dans l'explication des niveaux d'équipement automobile. Nous montrerons dans la section III.1.c.3, qu'à l'inverse leur influence sur l'usage des véhicules chez les adultes motorisés est négligeable. Au contraire, les prix des carburants s'avèrent déterminants pour l'usage des véhicules, mais n'ont qu'une influence restreinte sur les niveaux d'équipement (*Sweeney, 1978; Johansson et Schipper, 1997*). De plus, nous montrerons à partir d'une revue des études économétriques dans la section III.2.d.5, que l'élasticité-revenu du trafic automobile par tête dépend dans une large mesure du choix de contrôler ou non le niveau de motorisation (*Graham et Glaister, 2004*). Elle est ainsi nettement plus élevée dans le second cas, car elle reflète alors l'hétérogénéité des niveaux d'équipement, plutôt que la sensibilité⁷² réelle de l'usage des véhicules par les adultes motorisés à l'évolution de leur revenu, qui est nettement moindre. Or, ainsi qu'on l'a déjà relevé à partir de la littérature (*Dargay, 2001*), le niveau de motorisation varie de manière asymétrique en cas de hausse ou de baisse des revenus, en étant plus sensible dans le premier cas, dans la mesure où les ménages préféreront réduire leur usage de la voiture plutôt que de se séparer de leur véhicule en cas de baisse de leurs revenus.

Modéliser l'auto-mobilité par niveaux permet de dissocier le processus de diffusion structurel du permis de conduire et de l'équipement automobile, qui peut être décrit à travers des effets de génération, de l'utilisation des véhicules par les adultes motorisés, qui dépend dans une large mesure des conditions économiques, telles que les fluctuations des revenus et des prix des carburants. Pour chaque niveau, une analyse longitudinale peut être mise en œuvre au sein d'un modèle de type ACP, compte tenu du rôle central des effets de génération dans l'explication de la croissance de long terme du trafic automobile.

Au niveau des individus, l'usage de la voiture peut être vu comme la résultante d'un processus de décision séquentiel, dans lequel ils choisissent d'abord de passer le permis de conduire, puis d'avoir accès à un (ou des) véhicule(s) personnel(s), enfin un certain niveau d'usage de ce(s) véhicule(s). Cette représentation séquentielle du processus de décision est justifiée par le fait que l'accès au permis de conduire et à un véhicule personnel représentent des filtres successifs dans

⁷² Voir section III.3.c sur la question générale de l'équivalence entre hétérogénéité et sensibilité, ou entre estimations « transversales » et « longitudinales ».

l'accès à l'auto-mobilité. Un individu n'ayant pas le permis de conduire, en effet, n'aura pas la possibilité d'avoir accès à un véhicule personnel et donc de conduire, et par conséquent le trafic généré par cet individu sera nul, si du moins on choisit de rapporter le trafic généré aux conducteurs de véhicules. Un individu peut en effet voyager à titre de passager, mais les conducteurs de véhicules peuvent être considérés comme une base complète de génération du trafic, dans la mesure où tout déplacement automobile implique un conducteur. Cette base de génération du trafic permet de plus d'en expliquer la croissance, par l'accès des femmes à la conduite qui a multiplié le nombre de conducteurs. La distribution des kilométrages parcourus au sein de la population présente donc une forme discontinue, caractérisée par une certaine loi de distribution restreinte à la population des conducteurs, tandis que les valeurs sont uniformément nulles chez les non-conducteurs. On parle dans ce cas de distribution censurée. De même, un individu n'ayant pas l'accès à un véhicule personnel, n'aura en général pas la possibilité d'utiliser la voiture, sauf s'il l'emprunte temporairement (ex : la voiture des parents pour les grands enfants).

Au vu des données de *ParcAuto*, ce filtre semble relativement bien fonctionner, mais cette situation pourrait toutefois évoluer à l'avenir avec le développement des systèmes en location, en libre-service, ainsi que les services de covoiturage et d'auto-partage comme *BlaBlaCar* ou *AutoLib*. Le choix d'une représentation séquentielle du processus de décision revient à admettre qu'il n'y a pas de facteurs non-observés, tels que des préférences individuelles, exerçant simultanément une influence sur les décisions de passer le permis de conduire, de se motoriser et le niveau d'usage des véhicules, c'est-à-dire que ces décisions sont non-endogènes. Dans le cas contraire, on a affaire à un processus d'auto-sélection, c'est-à-dire que le choix d'un certain niveau de motorisation, par exemple, est corrélé avec le niveau d'usage de la voiture souhaité, les utilisateurs intensifs de la voiture ayant tendance à se motoriser davantage que les autres. Dans ce cas, les différentes composantes de l'auto-mobilité ne peuvent plus être représentées comme des décisions indépendantes, l'ensemble d'entre elles étant coproduites par le besoin ou le désir d'usage de la voiture, qui est latent. Il est alors nécessaire de les représenter comme un processus de décision simultané ou joint, dans lequel on autorise un certain degré de corrélation entre les différents niveaux de décision.

Dans le chapitre III, on cherchera à identifier et à évaluer l'influence relative des différents déterminants de l'auto-mobilité sur chacune de ses composantes – permis, motorisation, usage – à partir des données de *ParcAuto*, en ayant recours d'abord à l'analyse descriptive puis à l'économétrie des données de panel, en vue d'estimer les effets marginaux et, pour ce qui est des variables continues, les élasticités de chacun de ces facteurs. Après avoir mis en œuvre un modèle séquentiel, et comparé les résultats obtenus avec ceux de la littérature, on testera pour finir la validité de l'hypothèse d'un processus séquentiel.

II.3.b) Une approche individuelle et segmentée selon le genre

Les approches de modélisation qui intègrent des variables sociodémographiques sont généralement basées sur une représentation de niveau ménage plutôt que de niveau individuel. Cependant, dans notre cas, une modélisation de niveau individuel se présente comme le choix d'unité statistique le plus naturel, pour analyser tant l'hétérogénéité des comportements que l'évolution de l'usage de la voiture. En premier lieu, remarquons que la détention du permis de conduire est un attribut individuel, et qu'une modélisation par niveaux de l'auto-mobilité implique donc d'emblée de faire porter l'analyse sur le niveau individuel. Or, l'accès au permis de conduire est un filtre majeur de l'auto-mobilité, permettant d'expliquer en grande partie les différences entre hommes et femmes en matière d'auto-mobilité, ainsi que la croissance de long terme du

kilométrage moyen par adulte, qui est directement indexée sur l'augmentation du nombre de voitures par adulte, ce qui s'explique par le fait que le véritable moteur de la croissance du trafic – aux facteurs démographiques près – est l'accès à un usage de la voiture de plus en plus autonome. Il est remarquable d'observer que bien que la diffusion de l'automobile se soit déroulée en deux vagues, en commençant par le mono-équipement, et en se poursuivant par le multi-équipement, et que la voiture n'ait pas été conçue comme un équipement individuel dès l'origine, la croissance du taux de motorisation des adultes, de même que celle du kilométrage moyen par adulte, ne marquent pas véritablement de rupture dans leur évolution de long terme, traduisant un processus continu de diffusion dont l'horizon semble être celui d'une individualisation partielle ou complète de son usage.

Au contraire, en se situant au niveau du ménage, il n'est possible de rendre compte, ni de l'hétérogénéité, ni de la croissance de l'usage moyen de la voiture. Le taux de motorisation des ménages augmente ainsi à un rythme beaucoup moins soutenu que le nombre de voitures par adulte, et que le kilométrage moyen par adulte, l'essentiel de la croissance de l'auto-mobilité provenant du multi-équipement. L'indicateur que constitue la proportion de ménages motorisés se retrouve lorsqu'on considère, sur une base individuelle, la motorisation des chefs de ménage qui se situe tout à la fois à un niveau très élevé et homogène avec des effets de génération réduits et une faible croissance. La diffusion du second véhicule est donc occultée par une analyse de niveau ménage, portant le plus souvent sur les caractéristiques du chef de ménage, et ne permettant pas d'étudier les facteurs influant sur la mobilité du conjoint ou des autres adultes majeurs du ménage, le cas échéant. Du moins, elle en rend la modélisation plus complexe, alors qu'une segmentation de l'auto-mobilité sur une base individuelle en fonction du genre permet bien d'en rendre compte, les femmes étant le plus souvent utilisatrices du second véhicule au sein des couples.

Le choix de situer l'analyse à un niveau individuel présente donc plusieurs avantages :

- Il permet de prendre en compte les effets de genre - le genre étant lui-même une caractéristique individuelle - très importants dans l'explication des différences d'accès à l'auto-mobilité, souvent relevées dans la littérature (*Roux, 2012*) ;
- Il permet d'expliquer la croissance de l'auto-mobilité, qui provient essentiellement du multi-équipement (*Armoogum et Roux, 2012*) ;
- De plus, en lien avec cette diffusion, l'automobile devient elle-même toujours davantage un bien individuel (*Papon et Hivert, 2008*) ;
- Le choix d'une modélisation de niveau individuel est également plus pratique pour les applications en matière de prévision et afin de procéder au test de scénarios prospectifs, en ayant recours aux projections démographiques de l'INSEE issues du modèle OMPHALE, qui permettent de simuler la répartition des individus par sexe, âge, génération et lieu de résidence jusqu'en 2060.

De plus, une analyse de niveau ménage impliquerait de considérer que l'organisation de la mobilité quotidienne résulte essentiellement d'arbitrages définis au niveau du ménage. Or, la structure plus vraisemblable des besoins de mobilité est celle de besoins individuels complétés par des besoins collectifs au niveau du ménage. Il semble donc préférable, dans le cadre d'une modélisation totalement désagrégée, de partir du niveau individuel, qui permet une intégration à la fois

verticale par niveaux – ici permis, motorisation et usage – et horizontale des trafics automobiles générés par chaque individu.

Une approche individuelle présente cependant certaines difficultés et limites. Observons en premier lieu qu'il convient de définir la motorisation et l'usage des véhicules - ou le trafic automobile généré - à un niveau individuel. Dans *ParcAuto*, on connaît le conducteur principal de chaque véhicule mais on ignore de quelle manière l'usage de chaque véhicule se répartit entre les différents membres du ménage⁷³. On est donc amenés à définir l'accès à un véhicule personnel et l'usage individuel des véhicules de manière en partie conventionnelle, en définissant la motorisation à un niveau individuel comme le fait d'être l'utilisateur principal d'au moins un véhicule du ménage. Pour chaque véhicule, son kilométrage est ainsi attribué à son utilisateur principal. De ce fait, seuls les individus ayant un accès prioritaire à un véhicule sont considérés comme générateurs de trafic. Cette définition présente l'avantage d'être cohérente avec l'interprétation que nous avons proposé de la relation de long terme entre le trafic moyen par adulte et le taux d'équipement, comme étant liée à la proportion d'adultes ayant un accès autonome à un véhicule personnel. Le taux de motorisation ainsi défini peut être considéré comme un indicateur d'autonomie, dans la mesure où l'individu cesse d'être dépendant du chef de ménage, dès lors qu'il dispose d'un véhicule personnel ou de l'accès prioritaire à un véhicule.

Cette définition fonctionne comme base de génération de trafic. Elle permet en particulier une étude plus détaillée de la manière dont se décomposent les effets marginaux et les élasticités associés aux différents facteurs de l'usage de la voiture, par niveaux et en fonction du sexe. Les résultats de cette recherche présentent des applications potentiellement intéressantes dans le champ de la prévision et de la prospective de la demande de transport. Toutefois, une partie des besoins de mobilité du ménage est générée au niveau collectif. Par conséquent, les besoins de mobilité ne sont pas totalement séparables ou désagrégés au niveau individuel. D'une part, une certaine proportion de couples restent mono-équipés et la voiture unique du ménage remplit alors, en plus d'une fonction individuelle pour le chef de ménage, une fonction collective, son utilisation étant partagée entre les membres du foyer. En l'absence de données empiriques sur le partage de l'utilisation des véhicules, l'attribution de la totalité de la distance parcourue par un véhicule à son utilisateur principal conduit sans doute à surestimer légèrement les écarts entre hommes et femmes, les hommes étant plus souvent désignés comme chefs de ménage, par construction de l'algorithme de désignation de la personne de référence du ménage depuis le recensement de 1982. C'est là une des principales limites de l'approche individuelle.

Une manière de surmonter les difficultés de l'approche individuelle pourrait être d'adopter une modélisation par rang de véhicule (1^{er}/2^e/3^e véhicules). Toutefois, dans ce cas, on ne serait plus en mesure d'utiliser le modèle à des fins de prévision sur la base des projections démographiques de l'INSEE, car il faudrait alors disposer de projections par rang de véhicule, ainsi que de projections des individus auxquels ils appartiennent, qui ne sont pas disponibles. L'approche individuelle semble donc davantage compatible avec une logique de prévision, pouvant également servir de support au test de scénarios prospectifs. Une méthode alternative serait de définir des règles de

⁷³ Il serait possible, toutefois, sur la base du questionnaire de *ParcAuto*, de répartir l'usage de chaque véhicule entre son utilisateur principal et deux utilisateurs occasionnels. Toutefois, ce pourcentage n'est connu que par tranches exprimées en pourcentage de l'usage total du véhicule (< 10 %, 10-25 %, 25-50 %, > 50 %). En outre, le plus souvent, cette variable n'est pas renseignée, comportant environ 60 % de valeurs manquantes. Le recours à cette information n'a pas été utilisé ici, mais pourra faire l'objet d'une étude ultérieure. Une meilleure répartition de l'usage de chaque véhicule entre ses membres conduirait sans doute à une réduction des écarts de genre apparents, qui sont probablement un peu surestimés, compte tenu de l'usage partiellement collectif du véhicule principal du ménage.

partage de l'utilisation des véhicules du ménage. Cette méthode serait compatible avec des fins de prévision, mais les règles de partage présenteraient en partie un caractère arbitraire, en raison du caractère lacunaire de l'information sur le partage de l'usage des véhicules entre l'utilisateur principal et les utilisateurs occasionnels. Cette possibilité demeure toutefois à étudier de manière plus approfondie.

II.3.c) Contribution décisive des approches longitudinales

Dans cette section, on pointe les limites des approches classiques de modélisation de la demande, dans lesquelles les prévisions découlent d'une mesure des effets des facteurs explicatifs de la demande reposant sur des données d'enquête en « coupe instantanée », c'est-à-dire sur l'hétérogénéité des comportements observés à un instant donné, ce qui revient à faire implicitement l'hypothèse d'équivalence entre estimations transversales et longitudinales, ou entre mesures d'hétérogénéité et de sensibilité. Or, on montre à travers plusieurs exemples issus de la littérature, que ces mesures ne sont généralement pas équivalentes. On examine ensuite les raisons de ces divergences ou bien à l'inverse, les conditions économétriques nécessaires pour qu'estimations transversales et longitudinales puissent être considérées comme équivalentes. A partir de la littérature, on montre que ces conditions sont fréquemment violées, puis on identifie les processus économiques sous-jacents à la violation des conditions d'équivalence entre mesures de sensibilité et mesures d'hétérogénéité.

II.3.c.1) Les modèles usuels basés sur estimations en coupe transversale et leurs hypothèses implicites

Les modèles de prévision de la demande de transport et du trafic tels que ceux qui sont habituellement utilisés par le CGDD et la DGITM en France, ou encore par le *DfT* (*Département des Transports britannique*), reposent sur l'identification préalable d'un certain nombre de déterminants de la mobilité, qui peuvent pour l'essentiel être regroupés dans les catégories suivantes :

- Les déterminants économiques (revenus, PIB, chômage, prix des carburants...) ;
- Les déterminants démographiques (volume et structure de la population par génération et groupe d'âge...) ;
- Les déterminants « spatiaux » : répartition de la population sur le territoire (agglomérations, espaces diffus, par régions...) ;
- Les déterminants technologiques : types de motorisations et de carburants (essence/diesel/GPL/véhicules électriques/hybrides...), impact des communications électroniques (télétravail, commerce électronique, réseaux sociaux...) ;
- Les programmes d'activité : répartition par motif – travailler, faire ses achats, faire des démarches administratives, se divertir - en regroupant les activités qui peuvent être réalisées en un même lieu (par exemple au domicile). Ces derniers peuvent être traduits par l'estimation de ratios de mobilité.

- L'offre de transport : taux de motorisation, offre de transport collectif mesurée en places-kilomètre offertes (PKO), trains*km ou en linéaire de réseau... ;

L'exercice de la prévision implique l'estimation d'une mesure quantitative de l'influence de chacun de ces facteurs sur la demande de transport par le moyen de différents indicateurs, qui doit ensuite être combinée avec des projections ou des scénarios pour chacun de ces facteurs.

Certains d'entre eux, tels que les facteurs démographiques et spatiaux, ou encore les programmes d'activité, sont caractérisés par une grande inertie, soit parce qu'ils sont relativement invariants au cours du temps - c'est le cas notamment des ratios de mobilité, qui rendent compte de la structure des programmes d'activité - soit parce qu'ils évoluent au cours du temps de manière régulière et prévisible, avec une incertitude limitée - c'est le cas notamment des facteurs démographiques. Ces facteurs constituent le socle le plus stable des modèles de prévision. D'autres facteurs, tels que les déterminants économiques et l'offre de transport, sont caractérisés par une plus grande incertitude, et nécessitent des hypothèses sur leur évolution future, dont la formulation repose à la fois sur la connaissance et la projection des tendances passées et sur des motifs d'ordre politique – par exemple, la décroissance de la demande, même si on la juge possible, voire probable, est difficile à assumer sur un plan politique, en raison de ses répercussions économiques et du caractère partiellement auto-réalisateur des prévisions de trafic annoncées, dérivant de leur impact psychologique sur les agents économiques, qui modifient leurs comportements de manière à s'adapter aux prévisions annoncées. Les prévisions, en effet, contribuent à former le climat général de l'environnement économique, plus ou moins favorable aux décisions de consommation et d'investissement. La dimension politique des scénarios de prévision⁷⁴ provient également du fait que le contenu des scénarios de projection de certains facteurs, tels que le développement de l'offre de transport, l'évolution de l'urbanisation ou encore le type de motorisation des véhicules, n'est généralement pas indépendant des politiques projetées par la puissance publique.

Le socle des modèles de prévision de la demande de transport à l'échelle nationale est donc essentiellement constitué par ces quatre composantes – économie, démographie, géographie et offre de transport – qui sont les plus aisément quantifiables dans le cadre de scénarios et dont la vraisemblance peut être évaluée. En outre, l'incertitude relative à chacune de ces composantes est assez bien maîtrisée, moyennant l'affirmation, implicite ou explicite, d'un positionnement politique dont l'objectif est aussi de domestiquer l'incertitude sur l'avenir. Même ces quatre composantes nécessitent toutefois la formulation de scénarios alternatifs qui permettent aux décideurs d'envisager différents futurs possibles – l'avenir n'étant, malgré tout, pas écrit – et d'imaginer la manière dont les politiques publiques pourraient s'y adapter.

C'est *a fortiori* le cas lorsqu'on considère les autres facteurs – par exemple les facteurs technologiques – pour lesquels une orientation de la recherche-développement par les pouvoirs publics est possible, mais pas la prévision certaine de ses résultats futurs. Les ruptures technologiques et organisationnelles, telles que l'essor du marché du véhicule électrique – qui suppose, comme pour le véhicule basé sur le moteur à explosion, la baisse tendancielle des coûts et le développement d'une infrastructure adaptée pour permettre son appropriation par le consommateur - ou encore du télétravail, sont en effet difficilement prévisibles. En outre, l'influence de ces facteurs sur la demande est aussi plus difficile à quantifier, en l'absence de recul et de mesures empiriques de leurs effets. C'est pourquoi, pour pouvoir formuler des politiques robustes à l'incertitude, les décideurs ont généralement besoin de compléter la prévision par l'exercice toujours stimulant de la prospective, qui permet, en s'appuyant sur le repérage des

⁷⁴ D'une certaine manière traduite dans la célèbre formule « gouverner, c'est prévoir », attribuée à l'homme politique et journaliste français Emile de Girardin.

tendances émergentes - les « *signaux faibles* » - et l'imagination des ruptures possibles, de construire une palette plus étendue de scénarios afin de commencer à envisager les réponses que la puissance publique serait susceptible d'y apporter.

L'influence de chacun de ces facteurs sur la demande de transport doit en outre être quantifiée. Pour estimer cette influence, la prévision s'appuie sur différentes sources. L'influence des facteurs économiques est par exemple généralement saisie par le moyen d'analyses sur séries temporelles, ou encore s'appuie sur la littérature, qui a permis d'estimer des élasticités de la demande, généralement aux revenus et aux prix des carburants, par le moyen d'analyses économétriques (cf. *section III.2.d.5*).

L'influence des facteurs démographiques - âge, génération - ou spatiaux - lieux de résidence et d'emploi - est généralement estimée à partir des Enquêtes Nationales Transport. Ces enquêtes étant réalisées sur une période d'un an, elles fournissent une description de l'hétérogénéité des comportements à un instant donné, dite « *en coupe transversale* », par opposition à une analyse de l'évolution du comportement d'un individu ou d'un groupe d'individus déterminé au fil du temps, qui sera dite « *longitudinale* ». On en déduit pour chaque variable une valeur de paramètre ou une élasticité, généralement utilisée pour projeter la demande de transport à long terme, ce qui équivaut implicitement à supposer que mesures d'hétérogénéité et de sensibilité sont équivalentes. Par exemple, que pour calculer l'effet sur sa mobilité du déménagement d'un individu de la ville-centre vers sa banlieue, on peut projeter l'écart de comportement observé à la période de l'enquête entre les habitants des villes-centres et des banlieues.

II.3.c.2) Estimations transversales et longitudinales ne sont pas équivalentes

Cependant, différentes études et recherches empiriques ont montré que les estimations transversales et longitudinales des paramètres d'un modèle – ou des élasticités qui peuvent en être déduites - ne coïncident pas en général (*par ex. Baltagi et Griffin, 1983 ; Gardes et al., 1996 ; Gardes et al., 2005 ; Madre et Gardes, 2005*). Un grand nombre de ces études portent sur les comportements de consommation des ménages, qui peuvent être étudiés notamment grâce aux enquêtes sur le budget des ménages qui existent dans un grand nombre de pays développés.

Baltagi et Griffin (1983), dans une étude sur la consommation de carburants dans dix-huit pays de l'OCDE de 1960 à 1978, trouvent des valeurs respectives de - 0,32 et - 0,96 pour les estimations, longitudinales et transversales⁷⁵ de l'élasticité-prix de la consommation de carburants, soit une valeur trois fois plus élevée pour l'estimation transversale que pour l'estimation longitudinale. *Madre et Pirotte (1992)*, dans une étude de la demande de carburant dans les régions françaises, trouvent également un écart très important entre estimations transversales et longitudinales des élasticités-prix la demande de carburant. Des écarts importants sont également trouvés entre les estimations longitudinales et transversales des élasticités-revenus de la demande de carburant, avec des valeurs respectives de + 0,66 et + 0,97 selon *Baltagi et Griffin (1983)*, confirmées par *Madre et Pirotte (1992)*.

Les preuves empiriques d'un écart entre estimations transversales et longitudinales des élasticités portent également sur d'autres postes budgétaires. Par exemple, *Gardes et al. (2005)* montrent que les estimations transversales et longitudinales des élasticités-revenus des dépenses

⁷⁵ Celles-ci sont aussi dites respectivement « *within* » et « *between* », une désignation qui provient de l'économétrie des données de panel (cf. *section III.2 et annexe 3*).

alimentaires diffèrent à la fois pour les ménages polonais et américains, que ce soit pour les dépenses alimentaires correspondant à une consommation à l'intérieur du domicile ou pour les dépenses de restauration extérieures. Par exemple, dans le cas des ménages américains, les estimations transversales et longitudinales des élasticités-revenus des dépenses alimentaires au domicile à partir du PSID (*Panel Survey on Income Dynamics*) pour la période s'étendant entre 1984 et 1987 sont respectivement de + 0,2 et + 0,4. Pour les ménages polonais, ces estimations pour la période de 1987 à 1990 se situent respectivement à + 0,5 et + 0,8, reflétant un niveau de vie plus faible et une part plus élevée des dépenses alimentaires dans la consommation des ménages. À l'inverse, les estimations transversales et longitudinales des dépenses alimentaires consommées à l'extérieur du domicile sont estimées respectivement à + 1 et + 0,4 dans le cas des ménages américains.

Des résultats analogues sont obtenus à partir d'approches de type «*pseudo-panel*» pour les dépenses des ménages français et canadiens, en considérant cette fois l'ensemble des postes budgétaires [Cardoso et al., 1996a,b; Gardes et al., 1996]. Ainsi, Gardes et al. (1996) montrent que les estimations *between* et *within* des élasticités-revenus diffèrent pour la plupart des postes de dépenses, et que l'ordre des estimations est relié au type de biens considérés, selon qu'il s'agit de biens de consommation supérieurs, intermédiaires ou inférieurs, caractérisés par une diffusion sociale plus ou moins étendue. Selon la courbe d'*Engel* évoquée dans la section II.1.a.3, les consommations supérieures sont caractérisées par une élasticité supérieure à 1, qui traduit l'augmentation du coefficient budgétaire de ces dépenses avec l'élévation du revenu, ces consommations n'étant pas limitées en volume par nature. C'est le cas par exemple des biens culturels ou encore des voyages. De ce fait, leur diffusion au sein de la population est également caractérisée par une plus grande inégalité entre les ménages. D'une manière générale, les services semblent davantage entrer dans la catégorie des consommations supérieures. À l'inverse, les biens inférieurs, tels que les consommations alimentaires au domicile, sont limités en volume par nature, et induisent donc moins de différences entre les groupes sociaux, du moins au niveau des quantités consommées. Ils sont donc globalement caractérisés par une élasticité au revenu plus faible.

Les biens d'équipement durable constituent un cas intermédiaire. En effet, ils ne représentent pas une consommation pure mais constituent également un capital. Il s'agit donc dans ce cas moins de raisonner sur les quantités « consommées » que sur les quantités détenues. De prime abord, une analogie peut être établie avec les consommations inférieures, dans la mesure où les quantités détenues sont également limitées par nature. Pour autant, la diffusion des biens durables est caractérisée par une certaine hétérogénéité au sein de la population, qui est corrélée au pouvoir d'achat. Cependant, celle-ci évolue au cours du temps, car il s'agit de biens industriels, pour lesquels l'augmentation du nombre d'unités vendues permet de faire baisser les coûts de production. De plus, les ménages peuvent acquérir ces biens au fur et à mesure en se constituant un capital. Par conséquent, l'hétérogénéité dans la diffusion des biens d'équipement durable n'est pas stationnaire, mais décroît tendanciellement. En outre, ainsi que nous le verrons dans la section II.3.c.5, il découle de leur nature capitaliste que les biens d'équipement durables présentent une sensibilité asymétrique en cas de baisse et de hausse des revenus, qui permet d'expliquer l'existence d'un processus de diffusion, plutôt que d'une distribution stationnaire au sein de la population, qui est susceptible de caractériser des biens rares, par exemple (cf. annexe 1). Enfin, cette sensibilité décroît au fil du temps, à mesure que la diffusion du bien d'équipement se rapproche de la saturation. Par conséquent, la diffusion des biens d'équipement durable tels que l'automobile, est caractérisée à la fois par une hétérogénéité et par une sensibilité qui varient au cours du temps, la sensibilité du niveau d'équipement des ménages étant elle-même asymétrique. La question de la relation entre hétérogénéité et sensibilité dans la diffusion d'un bien durable et

de la manière dont cette relation évolue lors des différentes étapes du processus de diffusion est abordée dans la section II.3.c.5, sans être complètement éclaircie⁷⁶.

II.3.c.3) Les conditions nécessaires pour pouvoir considérer les estimations transversales et longitudinales comme équivalentes

Les approches traditionnelles de modélisation, basées sur l'extrapolation des tendances futures à partir d'estimations transversales, semblent donc invalidées par ce constat. Toutefois, avant d'explorer plus avant cette question, remarquons que les limites de ces modèles doivent être rapportées aux données qui ont servi à leur développement. L'utilisation de données de panel permet en effet de pénétrer plus avant dans la compréhension des comportements, et d'obtenir des estimations plus précises et consistantes des effets des différents facteurs explicatifs, grâce à la disponibilité d'observations répétées pour les mêmes individus au cours du temps. Toutefois, l'utilisation de données de panel est relativement récente en comparaison des enquêtes ménages traditionnelles, généralement réalisées sur des échantillons indépendants à intervalles distants. Or, les avancées économétriques ne sont pas indépendantes des évolutions dans les sources de données. Les modèles traditionnels, qu'ils soient linéaires ou de choix discrets, se sont initialement développés à partir de sources de données n'intégrant pas la dimension temporelle. Ce n'est que plus récemment que tout un pan de l'économétrie spécialisé dans l'analyse des données de panel a pris son essor (Wooldridge, 2001 ; Sevestre, 2002 ; Hsiao, 2003 ; Baltagi, 2008 ; Pirotte, 2012). Aussi, les limites des approches classiques, et les biais qui sont susceptibles d'en résulter, sont-elles moins imputables à la conception des modèles qu'aux données disponibles pour leur calibrage, le plus souvent les Enquêtes Ménages Déplacements ou l'Enquête Nationale Transports, le recours aux données de panel demeurant encore marginal, notamment en raison d'un faible nombre de panels et d'un accès restreint aux panels existants.

Dans le cas des enquêtes ménages, les estimations des paramètres sont essentiellement des mesures d'hétérogénéité. Au contraire, sur données de panel, on aura en plus la possibilité d'obtenir des mesures longitudinales. Le cas des données de panel est donc celui qui présente les opportunités les plus intéressantes et les plus complètes d'analyse et de compréhension des comportements. Il permet en particulier de produire toute la palette des estimations possibles pour les paramètres des modèles et les élasticités qui en dérivent, et de les comparer. En effet, en permettant d'observer un groupe d'individus sur plusieurs périodes, les données de panel permettent à la fois de saisir les causes de l'hétérogénéité permanente des comportements entre individus – ou bien leur hétérogénéité à chaque instant – et les causes de variabilité des comportements au cours du temps pour chaque individu – ou pour chaque groupe d'individus, si on raisonne à partir d'un pseudo-panel. C'est vrai du moins dans le cas des modèles économétriques linéaires⁷⁷ sur données de panel, pour lesquels les estimations «transversales» et longitudinales sont dites respectivement «*between*» et «*within*» (cf. section III.2 et annexe 4). Ces deux dimensions contribuent de plus à la variabilité du comportement moyen au cours du temps, celle-ci découlant à la fois de changements structurels dans la composition de la population, et d'évolutions des comportements pour chaque individu. Pour ce qui est de l'auto-mobilité, la cause principale de croissance à long terme réside dans la succession des générations, dont dérive en particulier celle du taux de motorisation individuel.

⁷⁶ Des approfondissements sur ce sujet nécessiteraient sans doute le recours à des techniques plus sophistiquées d'économétrie des données de panel.

⁷⁷ Ou bien log-linéaires, ou semi-log-linéaires.

Différents auteurs se sont interrogés sur les causes de non-équivalence entre estimations transversales et longitudinales. Intuitivement, on perçoit que, au moins sur le plan conceptuel, ces deux notions recouvrent des réalités différentes. En effet, en toute rigueur, l'analyse en «*coupe transversale*» permet de produire des mesures d'hétérogénéité, mais pas de sensibilité, et inversement pour l'analyse longitudinale. Toujours intuitivement, on perçoit que le postulat d'équivalence entre mesures de sensibilité et d'hétérogénéité revient en fait à faire plusieurs hypothèses :

- L'influence de chacun de ces facteurs sur l'hétérogénéité des comportements est stable au cours du temps, ce qui n'est d'évidence pas le cas dans le cadre de la diffusion sociale d'un bien durable, ou encore en cas de déclin de l'utilité marginale des consommations supplémentaires (cf. remarques précédentes et formules des effets marginaux et des élasticités dans la section III.2). Corrélativement, les effets estimés ont une fenêtre de validité illimitée. Si en effet on suppose les effets stables dans le temps, il est possible de les utiliser dans le cadre d'une prévision à long terme. Si par contre, ils évoluent au fil du temps, alors l'horizon de validité des prévisions qui en découlent est limité au court terme ;
- Utiliser un paramètre ou une élasticité unique équivaut à supposer que l'influence de chacun des facteurs est homogène. Une augmentation du revenu, par exemple, aura le même effet sur des ménages modestes ayant un faible niveau de mobilité que sur les ménages aisés ayant déjà des niveaux de mobilité élevés ;
- Les effets des différents facteurs sont symétriques. Par exemple, l'effet d'une baisse de revenu sur l'usage de la voiture est de magnitude équivalente, mais avec un signe opposé, à l'effet d'une hausse de revenu. En effet, dans le cas d'une sensibilité asymétrique, une mesure unique de l'élasticité ne peut pas être interprétée comme une mesure de sensibilité.

Ces conditions sont également relevées par *Kitamura (1990)*, qui note par ailleurs que, pour pouvoir considérer les estimations transversales et longitudinales comme équivalentes, il est nécessaire que les effets soient instantanés. En effet, dans le cas de processus dynamiques, la temporalité des effets entre en ligne de compte, et implique de déterminer dans quelle mesure les temporalités respectives des estimations transversales et longitudinales coïncident. Ceci se rapporte par exemple au cas de la diffusion d'un bien d'équipement durable dans lequel l'hétérogénéité et la sensibilité, tout en évoluant globalement dans le même sens, n'évoluent peut-être pas au même rythme.

Enfin, en économétrie des panels, *Mundlak (1978)* montre qu'en présence d'endogénéité, c'est-à-dire de corrélation entre les effets individuels permanents non-observés, et les variables explicatives du modèle, les estimations transversales et longitudinales des paramètres d'un modèle linéaire sur données de panel divergent. Il relève également l'influence de la temporalité des processus d'adaptation, qui joue un rôle dans l'explication de la divergence entre estimations transversales et longitudinales.

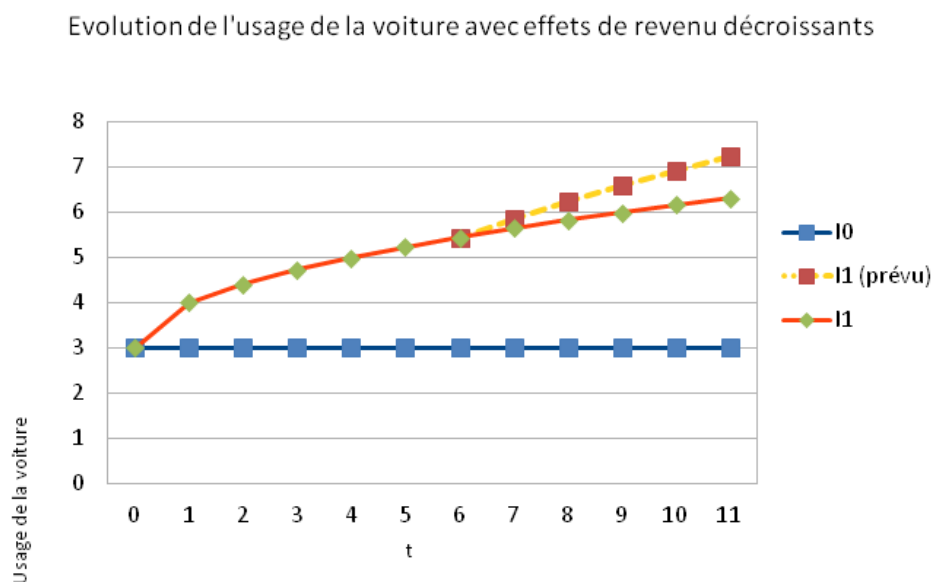
Il semble donc qu'on puisse regrouper les explications de l'écart entre mesures d'hétérogénéité et de sensibilité qui sont exposées dans la littérature en cinq arguments généraux : stationnarité de la relation de cause à effet (les mêmes causes produisent les mêmes effets) ; homogénéité des effets (entre différents groupes de population, ce qui équivaut à postuler l'absence d'interactions

entre variables explicatives) ; symétrie des effets (processus réversible) ; instantanéité (processus statique plutôt que dynamique) ; exogénéité (indépendance entre les effets individuels et les facteurs explicatifs).

Ces conditions sont de nature économétrique plutôt qu'économique. Toutefois, la violation des conditions d'équivalence résulte de processus économiques sous-jacents, auxquels renvoient certaines explications avancées dans la littérature. Aussi, dans la suite, on identifiera certains de ces processus, pour ce qui concerne les niveaux d'équipement et d'usage de la voiture. Mais dans un premier temps, on commence par montrer en quoi la violation de ces conditions est susceptible d'entraîner une divergence entre estimations transversales et longitudinales.

Stationnarité et homogénéité de la relation de cause à effet

Des effets hétérogènes sont susceptibles d'entraîner tout à la fois des évolutions dans les estimations transversales et longitudinales au cours du temps, et leur divergence. Les questions de la stationnarité et de l'homogénéité des effets sont donc reliées.



Graphique 22 : Illustration du problème d'effets hétérogènes et non-stationnaires

Pour illustrer ce problème, on considère l'exemple ci-dessus dans lequel l'usage de la voiture est, à une date donnée, une fonction croissante du revenu du ménage. Toutefois, l'effet d'une augmentation de revenu sur l'usage de la voiture décline à mesure que le niveau de revenu – et corrélativement, d'usage de la voiture – augmente⁷⁸. On considère deux ménages, l'un dont le revenu augmente, l'autre dont le revenu demeure constant, notés respectivement I_1 et I_0 . D'un point de vue économique, cette situation pourrait correspondre, par exemple, à un système économique et social dans lequel la distribution des richesses serait de plus en plus déséquilibrée, seuls les plus riches voyant leur revenu augmenter. A mesure que le temps passe, les augmentations de revenu pour l'individu I_1 entraînent des augmentations de plus en plus faibles de l'usage de la voiture. On dira que l'effet marginal du revenu sur l'usage de la voiture décroît.

Dans cette situation, tant les estimations transversales que longitudinales des effets de revenu décroissent. En effet, tout à la fois, la différence d'usage de la voiture entre les individus I_1 et I_0

⁷⁸ On reviendra dans la section II.3.c.5 sur l'interprétation économique de ce phénomène.

décroît au cours du temps lorsqu'elle est rapportée à la différence de revenu, et la sensibilité de l'usage de la voiture de l'individu I_1 à une augmentation de son revenu décroît.

Formellement, supposons que :

$$\begin{aligned} R_1(t) &= R_0 + t \\ R_0(t) &= R_0 \end{aligned}$$

En outre, l'usage de la voiture est donné par exemple :

$$Y(R) - Y_0 = \sqrt{R - R_0}$$

On a donc pour l'individu I_1 :

$$Y_1(t) - Y_0 = \sqrt{t}$$

L'évolution de l'effet de revenu, estimé en coupe transversale à l'instant t est alors fourni par :

$$\frac{Y_1(t) - Y_0}{R_1(t) - R_0} = \frac{\sqrt{t}}{t} = \frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{1}{\sqrt{R_1(t) - R_0}}$$

On voit clairement que l'effet marginal de R sur Y décroît au cours du temps, et avec le niveau de revenu, qui sont ici équivalents, en raison d'une croissance régulière du pouvoir d'achat de l'individu I_1 .

Estimé sur une base longitudinale, l'effet de revenu serait :

$$\frac{Y_1(t+1) - Y_1(t)}{R_1(t+1) - R_1(t)} = \sqrt{t+1} - \sqrt{t}$$

A l'aide d'un développement limité, on montre que lorsque $t \rightarrow \infty$:

$$\frac{Y_1(t+1) - Y_1(t)}{R_1(t+1) - R_1(t)} \sim \frac{1}{2\sqrt{t}} \sim \frac{1}{2\sqrt{R_1(t) - R_0}}$$

L'estimation longitudinale, dans cet exemple, est nettement inférieure à l'estimation transversale de l'effet de revenu. Cela s'explique par le fait qu'une augmentation de revenu se traduit par une croissance de plus en plus faible de l'usage de la voiture. En effet, l'effet dans la dimension longitudinale tend à ne mesurer que l'influence d'une augmentation de revenu à l'heure présente, pour un niveau d'usage de la voiture déjà proche de la saturation, tandis que l'effet dans la dimension transversale résulte de l'historique des augmentations cumulées de l'usage de la voiture, pour des périodes où l'effet de revenu était alors plus important.

De ce fait, l'utilisation de l'estimation transversale pour projeter l'utilisation future de la voiture pour l'individu I_1 amènerait à surestimer celle-ci, avec une augmentation prévue de $\frac{1}{\sqrt{t}}$ chaque année, au lieu de $\frac{1}{2\sqrt{t}}$ dans la réalité. Il n'est donc pas possible, dans ce cas, d'utiliser les estimations transversales des effets de revenu pour prévoir l'augmentation future de la demande sur la base

d'un scénario d'augmentation du revenu, car celles-ci résultent d'une somme d'évolutions cumulées avec des effets hétérogènes, alors que la variation longitudinale de l'usage de la voiture est déterminée par l'effet marginal décroissant, qui tend vers zéro au fil du temps (et avec le niveau de revenu atteint).

L'hétérogénéité et la non-stationnarité des effets peuvent également être illustrées par le processus de diffusion d'un bien durable. Considérons en effet un bien tel que l'équipement automobile et supposons que sa diffusion au sein de la population est déterminée par l'utilité de sa possession, elle-même reliée au niveau de vie du ménage. Par exemple, l'utilité est exprimée par :

$$Y^* = \beta_0 + \beta_1 R + \varepsilon$$

ε étant une perturbation supposée suivre une distribution logistique standard. C'est le contexte des modèles *logit* classiques. Dans ce cas, la probabilité pour un ménage d'être équipé est fournie par l'expression :

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 R)}}$$

La probabilité d'équipement est une fonction croissante du revenu du ménage. Toutefois, par définition, elle ne peut croître au-delà de un. L'effet marginal du revenu sur le taux d'équipement décroît donc à mesure que le revenu augmente. Son expression est en effet fournie par :

$E = \beta_1 f(Y^*)$, expression dans laquelle $f(Y^*)$ représente la densité de la loi logistique évaluée en Y^* . Or, celle-ci tend vers zéro lorsque Y^* - et donc lorsque R - tendent vers l'infini. L'hétérogénéité des effets, dans ce cas, exprime la convergence vers la saturation dans la diffusion d'un bien, une fois que chaque individu - ou chaque ménage - est équipé. En cas d'élévation générale du pouvoir d'achat, on observera donc une baisse tendancielle des effets marginaux et des élasticités au revenu, à mesure qu'on s'approche de la saturation, qui aura des effets, non seulement sur le taux de motorisation, mais également sur l'usage moyen de la voiture par personne⁷⁹, qui tendront tous deux à ralentir leur progression au cours du temps. En effet, l'usage de la voiture n'est pas distribué de manière continue au sein de la population, mais avec une séparation claire entre les personnes équipées et les personnes non-équipées, dont l'usage de la voiture est nul. L'usage de la voiture, comme celui d'un bien d'équipement quelconque - par exemple les consommations téléphoniques - est en effet assujéti à la possession du bien, et présente donc le caractère d'une variable censurée (*Tobin, 1958*).

Supposons en effet que l'usage moyen de la voiture soit égal à \bar{Y} chez les ménages équipés, et 0 chez les ménages non-équipés. Si on note τ le taux d'équipement, l'usage moyen de la voiture pour l'ensemble de la population des ménages sera égal à $\tau \bar{Y}$. En supposant stationnaire l'usage de la voiture chez les ménages équipés, alors l'usage moyen de la voiture augmente comme le taux d'équipement. De fait, c'est bien ce qu'on observe si on considère le taux d'équipement et l'usage de la voiture, non plus au niveau du ménage, mais à un niveau individuel. L'élasticité de l'usage de la voiture par rapport au revenu peut alors être exprimée simplement par :

$$\eta_{U/R} = \eta_{\tau/R} + \eta_{Y/R}$$

⁷⁹ Puisque celui-ci dépend de la proportion de personnes équipées.

L'élasticité de l'usage de la voiture par rapport au revenu est alors la somme de l'élasticité de l'usage des véhicules chez les individus équipés et de l'élasticité du taux d'équipement individuel. L'élasticité du taux d'équipement décroissant avec l'approche de la saturation, se répercute inévitablement sur celle de l'usage de la voiture. Le déclin tendanciel des élasticités en phase de convergence vers la saturation peut s'interpréter à la fois comme une homogénéité de plus en plus grande des niveaux d'équipement – et corrélativement, d'usage de la voiture – et une sensibilité de plus en plus faible aux variations de revenus (cf. remarques précédentes sur le processus de diffusion d'un bien d'équipement durable).

En effet, lorsqu'on considère le processus de diffusion d'un bien d'équipement durable, et qu'on représente ce dernier par un modèle de choix discret comme ci-dessus, comment évoluent l'hétérogénéité et la sensibilité de sa diffusion au fil du temps ? Dans la situation initiale, personne ne dispose du bien, de sorte que la distribution des états individuels au regard de la possession du bien est homogène au sein de la population. Puis, en phase de « décollage » du marché, les plus riches commencent à s'équiper, tandis que les couches moyennes et modestes demeurent non-équipées, ce qui induit une certaine hétérogénéité dans sa diffusion au sein de la population. Donc, dans un premier temps, l'hétérogénéité des situations individuelles augmente. A mi-chemin du processus de diffusion, cette hétérogénéité est maximale, avec une diffusion qui commence déjà à être importante chez les plus aisés, modérée dans les couches moyennes, et encore balbutiante chez les plus modestes. Puis, en régime de convergence vers la saturation, l'ensemble des plus riches commençant à être équipés, le taux d'équipement ralentit sa croissance dans ce groupe, tandis que celle-ci se poursuit dans les couches moyennes ainsi que chez les plus modestes, ce qui entraîne un rapprochement tendanciel des niveaux d'équipement, et donc une décroissance de l'hétérogénéité, qui se poursuit jusqu'à atteindre un seuil correspondant à la diffusion maximale du bien. Il peut subsister, en effet, pour les raisons déjà indiquées, un pourcentage d'individus ou de ménages qui demeureront non-équipés. Par conséquent, en vertu de ce raisonnement et sous réserve de définir un indicateur permettant de la mesurer, l'hétérogénéité des états individuels aurait tendance à suivre une courbe en cloche, commençant par augmenter, passant par un maximum, puis déclinant.

Les formules qui permettent de calculer des effets marginaux et des élasticités, dans le cadre d'un modèle de choix discret, représentent bien ce processus, avec une fonction des variables explicatives d'abord croissante, puis décroissante en phase de convergence vers la saturation (cf. *section III.2*). Ce résultat traduit simplement les propriétés de la fonction de répartition d'une loi de probabilité, qui permet de passer de l'expression des utilités à celle des probabilités d'équipement, traduisant le fait que l'impact d'un gain d'utilité sur la probabilité d'équipement est d'autant plus faible que la probabilité est déjà proche de 1.

Qu'en est-il pour la sensibilité ? Si on suppose que le bien ne commence à se diffuser de manière significative au sein de la population qu'à partir d'un certain seuil de revenu, à l'initiation du processus de diffusion, les augmentations de revenus ne susciteront une diffusion plus étendue que pour les plus riches. La sensibilité moyenne de sa diffusion à l'augmentation des revenus est donc faible. Puis, à mesure que les revenus augmentent, les augmentations de revenus produiront des effets plus généraux sur la diffusion du bien, et non plus circonscrits aux plus aisés. Par conséquent, la sensibilité moyenne de la diffusion du bien aux augmentations de revenus augmentera. Enfin, en période de convergence vers la saturation, la probabilité d'équipement étant déjà très élevée chez les plus riches, les augmentations de revenus ne peuvent plus susciter des augmentations très importantes de celle-ci, de sorte que la sensibilité moyenne de la diffusion

du bien diminue. A mesure que les classes moyennes et modestes se rapprochent également de la saturation, la sensibilité de leur taux d'équipement aux augmentations de revenus diminue également.

Aussi bien l'hétérogénéité que la sensibilité suivent donc une courbe en cloche, et tendent à varier dans le même sens au cours des différentes étapes du processus de diffusion. Pour les modèles de choix discret, on utilisera une estimation unique des élasticités, c'est-à-dire qu'on ne distinguera pas *a priori* entre estimation transversale et longitudinale. La raison en est essentiellement technique, les élasticités étant dérivées de l'estimation des paramètres, qui est elle-même réalisée par le maximum de vraisemblance. De ce fait, on peut supposer que l'estimation obtenue corresponde à une certaine pondération des dimensions transversale et longitudinale, comme pour l'estimateur des moindres carrés quasi-généralisés dans le cas linéaire. Cependant, les estimations obtenues par la méthode du maximum de vraisemblance sont sans doute plus proches d'estimations transversales, donc de mesures d'hétérogénéité, compte tenu de la prédominance de la dimension transversale (le nombre d'individus) sur la dimension longitudinale (le nombre de périodes) dans la variabilité des observations. Aussi, elles seront davantage interprétées comme des mesures d'hétérogénéité que comme des mesures de sensibilité.

Dans le cas d'un service, dont la consommation n'est pas limitée par nature, mais seulement par des contraintes monétaires, en lien avec la part de leur budget que les ménages souhaitent consacrer à tel ou tel poste de dépense, il n'y a pas de loi d'évolution tendancielle des élasticités aussi évidente que dans le cas d'un bien d'équipement. La consommation d'un service ou d'une ressource déterminée peut ainsi être caractérisée par une forte hétérogénéité et une faible sensibilité au revenu, dans le cas d'un bien rare – cf. exemple présenté dans l'annexe 2 d'une quantité fixe d'or disponible sur le marché – ou à l'inverse par une faible hétérogénéité et une forte sensibilité – par exemple, la sensibilité aux prix des carburants de l'utilisation des véhicules par les adultes motorisés dans les zones de forte dépendance automobile, où la contrainte externe représentée par l'environnement bâti conduit à de faibles écarts permanents d'usage de la voiture en fonction du revenu, mais où l'ensemble des ménages sont néanmoins sensibles à l'évolution des contraintes monétaires. Ces exemples sont caractérisés par le fait que l'hétérogénéité des comportements demeure stationnaire, tandis que des facteurs extérieurs exercent une influence homogène sur la variation des comportements au cours du temps, ce qui montre clairement que les facteurs qui déterminent l'hétérogénéité des comportements ne sont pas identiques à ceux qui en déterminent la variabilité⁸⁰, ce qui constitue peut-être encore l'explication la plus simple et la plus générale de la non-équivalence entre estimations transversales et longitudinales, sur laquelle nous reviendrons à la fin de cette section. Dans le cas du processus de diffusion d'un bien durable, l'hétérogénéité dans la diffusion du bien au sein de la population, en revanche, n'est pas stationnaire, mais évolue au cours du temps, en relation avec les facteurs monétaires de revenus et de prix, par exemple. Les mêmes facteurs contribuent donc *a priori* à expliquer à la fois l'hétérogénéité des comportements individuels à chaque instant - qui ne peuvent prendre que deux modalités, à savoir la possession du bien ou sa non-possession, aussi parlera-t-on plutôt d'états individuels - et son évolution entre deux périodes.

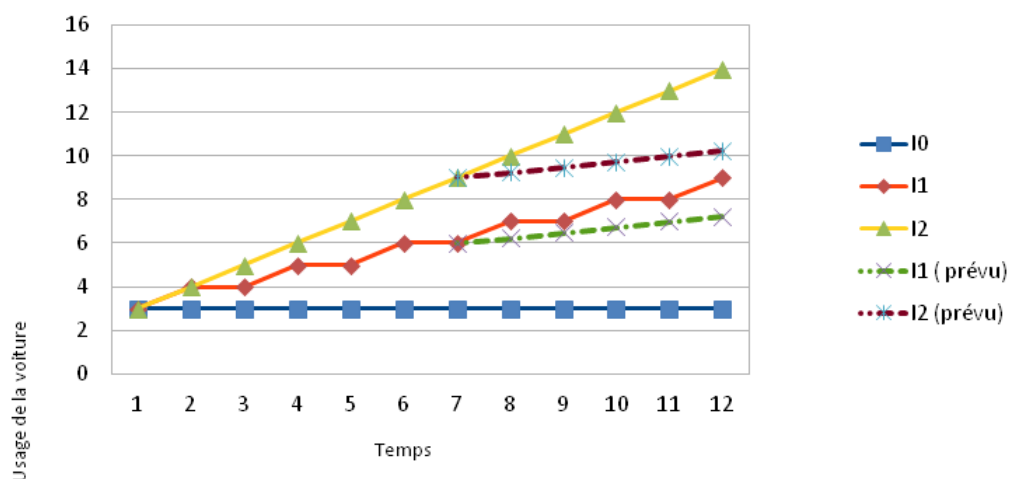
Pour autant, il serait sans doute hâtif d'en conclure à une équivalence entre hétérogénéité et sensibilité dans le cas de la diffusion d'un bien durable. En effet, on peut d'ores et déjà remarquer que le seuil de saturation peut par exemple être caractérisé par la subsistance d'une certaine hétérogénéité dans la diffusion du bien, tandis que celle-ci ne manifestera plus de sensibilité aux

⁸⁰ Ou plus exactement, les déterminants des comportements initiaux peuvent différer des déterminants des évolutions de comportements.

variations de revenus. La limite à la production d'estimations transversales et longitudinales dans le cas de modèles de choix discret sur données de panel est surtout technique, en l'absence d'estimateurs adaptés. Toutefois, cette situation étant peu satisfaisante et il semble qu'un minimum de recherche économétrique devrait permettre de la résoudre facilement en produisant des estimateurs du type « maximum de vraisemblance conditionnelle ». Dans l'attente de ces améliorations, on peut néanmoins produire quelques résultats obtenus à partir d'une modélisation linéaire sur les données organisées en « pseudo-panel », qui seront présentés à la fin de la section III.2, ce qui permettra en même temps de voir comment les estimations des élasticités obtenues à partir de l'estimateur du maximum de la vraisemblance de modèles de choix discret sur données de panel se situent respectivement par rapport aux estimations transversales et longitudinales obtenues à partir d'une modélisation linéaire sur « pseudo-panel ».

Symétrie des effets

Evolutions de l'usage de la voiture dans un schéma d'asymétrie des effets



Graphique 23 : illustration du problème de l'asymétrie des effets

On aborde ensuite la question de la symétrie des effets, en prenant à nouveau comme exemple les effets de revenu, dans la mesure où on dispose de davantage de preuves empiriques sur ce sujet. On considère à nouveau trois individus ayant initialement le même niveau de revenu R_0 , auquel correspond un niveau d'usage U_0 . Supposons que l'effet marginal d'une augmentation de revenu sur le niveau d'usage soit égal à α , c'est-à-dire que pour une augmentation de 1 du revenu, l'augmentation du niveau d'usage est égal à α . Cependant, en cas de baisse du revenu, le niveau d'usage, au lieu de baisser, demeure stable⁸¹.

Pour le premier individu, noté I_2 , le revenu croît de manière constante et régulière, ce à quoi correspond une évolution semblable de l'usage de la voiture. A la période T , l'usage a augmenté de $T\alpha$. Pour l'individu noté I_1 , le revenu demeure stationnaire, mais avec une alternance entre des périodes de hausse et de baisse. Dans ce cas, l'usage de la voiture augmente de manière irrégulière, avec une alternance entre des périodes de hausse et de stabilité. A la fin de la période T , il s'est accru de $T\alpha/2$, soit une croissance moitié moindre que celle de l'individu I_2 . Enfin, on considère l'individu I_0 , dont le revenu demeure constant. Pour cet individu, l'usage de la voiture demeure stable.

⁸¹ On reviendra plus tard sur l'interprétation économique de ce phénomène.

Supposons maintenant qu'on cherche à déterminer l'effet du revenu sur l'usage de la voiture. On suppose dans un premier temps que l'échantillon est constitué des individus I_0 et I_2 . Pour évaluer l'effet du revenu sur le niveau d'usage de la voiture à l'instant t , on rapporte, comme précédemment, la différence d'usage de la voiture entre les deux individus à leur différence de revenus, soit :

$$\frac{U_T(2) - U_T(0)}{R_T(2) - R_T(0)} = \frac{\alpha T}{T} = \alpha$$

L'effet marginal estimé du revenu sur l'usage de la voiture est égal à α , un effet qui demeure constant dans le temps, et qui est aussi égal à l'effet longitudinal d'une augmentation de revenu unitaire. Pour l'instant donc, l'effet marginal est le même qu'il soit estimé dans la dimension transversale ou longitudinale.

Cependant, supposons maintenant qu'on remplace, au sein de l'échantillon, l'individu I_0 par l'individu I_1 . Dans ce cas, l'effet marginal estimé à l'instant T vaut :

$$\frac{U_T(2) - U_T(1)}{R_T(2) - R_T(1)} = \frac{T\alpha/2}{T} = \alpha/2$$

L'effet marginal du revenu sur l'usage estimé en coupe transversale, dans ce cas, est moitié moindre de ce qu'il vaut dans le premier cas. Pourtant, le revenu final de l'individu I_1 en T est identique à celui de l'individu I_0 . Cela implique que pour une même distribution des revenus au sein de la population, on pourra avoir des distributions très différentes des niveaux d'usage. En présence d'asymétrie, il est donc évident que la seule connaissance de la distribution de la variable explicative générant des effets asymétriques, ne suffit pas à déterminer celle de la variable dépendante. En l'occurrence dans ce cas, la connaissance de la distribution transversale des revenus ne suffira pas à déterminer celle des niveaux d'usage.

Supposons en effet qu'on s'appuie sur l'estimation transversale de l'effet de revenu à l'instant T pour projeter l'évolution future de l'usage de la voiture. Ces projections correspondent sur le graphique aux tracés en pointillés. Par exemple, on observe les niveaux d'usage pour les individus I_1 et I_2 , et on en déduit que l'effet marginal de revenu est égal à $\alpha/2$. On suppose à présent que d'ici $t = 2T$, il y aura une augmentation générale de revenu de 0,5 chaque année, sur la base de l'évolution moyenne des revenus observée pendant la période précédente, pour $t \leq T$. Le revenu moyen sera donc supposé augmenter de $0,5 T$ entre $t=T$ et $t=2T$. A cette augmentation correspondra une croissance théorique de l'usage de la voiture de $0,5 T * \frac{\alpha}{2} = T\alpha/4$. Cependant, si les individus poursuivent leur trajectoire passée, les croissances réelles de l'usage de la voiture seront de $T\alpha/2$ pour I_1 et $T\alpha$ pour I_2 , soit une évolution moyenne de l'usage de la voiture de $3 T\alpha/4$. L'utilisation de l'estimation transversale conduit donc dans ce cas à nettement sous-estimer la croissance future de l'usage de la voiture.

Cela s'explique par le fait que l'estimation transversale de l'effet de revenu est nettement inférieure à l'estimation longitudinale. Si on se place dans le cas de l'individu I_2 , par exemple, l'effet marginal de revenu estimé en coupe transversale à $\alpha/2$, est nettement inférieur à l'effet longitudinal, égal à α . De plus, l'augmentation de revenu pour l'individu I_2 est sous-estimée, puisqu'elle est égale à α et non à $\alpha/2$. La combinaison d'une progression de revenu sous-estimée et d'un effet de revenu sous-estimé conduit à sous-estimer considérablement la progression de

l'usage de la voiture. A l'inverse, pour l'individu I_1 , l'évolution de revenu est surestimée, puisqu'elle est estimée à $\alpha/2$ alors qu'il demeure stationnaire. Mais d'un autre côté, l'effet marginal de revenu est estimé à $\alpha/2$, ce qui entraîne une progression prévue de $\alpha/4$ chaque année, et de $T\alpha/4$ globalement sur l'ensemble de la période, au lieu de $T\alpha/2$ dans la réalité.

Il est clair dans ce cas que les estimations transversales ne peuvent être utilisées pour déterminer les niveaux de demande future. Supposons maintenant qu'on se place dans le cas où l'échantillon est constitué des individus I_0 et I_2 . Dans ce cas, l'effet marginal est estimé à α , et les prévisions de croissance à l'horizon $t = 2T$, sur la base d'une croissance des revenus de 0,5 pour les deux individus, calée sur la croissance moyenne observée pendant la période précédente, seront identiques pour les deux individus, avec une estimation à $T\alpha/2$. Ces projections sont sous-estimées pour l'individu I_2 , et surestimées pour l'individu I_0 , car on ne tient pas compte de l'hétérogénéité des évolutions de revenus, mais les demandes totale et moyenne sont correctement prédites, avec une croissance moyenne prédite de $T\alpha/2$, correspondant à la croissance moyenne observée.

On voit donc clairement que, dès lors qu'on fait intervenir des comportements asymétriques :

- La distribution des revenus ne suffit plus à déterminer celle des niveaux d'usage, car à une même distribution des revenus est susceptible de correspondre plusieurs distributions différentes des niveaux d'usage ;
- La connaissance de la distribution des revenus et des niveaux d'usage à un instant donné ne suffit pas à projeter correctement l'évolution de la demande future, qu'elle peut notamment conduire à sous-estimer ;
- L'estimation transversale de l'effet de revenu à un instant donné est contingente aux trajectoires passées d'évolution du revenu.

Observons de plus que pour une même évolution du revenu à long terme, par exemple un revenu stationnaire, l'évolution du niveau d'usage peut suivre des trajectoires très hétérogènes. Par conséquent, la connaissance de l'évolution tendancielle moyenne des revenus ne suffit plus à déterminer celle des niveaux d'usage. On ne peut donc pas non plus projeter l'évolution future de la demande sur la base d'hypothèses d'augmentation moyenne du niveau de vie. Par exemple, dans le cas d'un revenu stationnaire, on pourra avoir soit une croissance du niveau d'usage dans le cas où une tendance de long terme stationnaire masque une alternance entre périodes de hausse et de baisse du niveau de vie, soit une stabilité du niveau d'usage si le niveau de vie demeure constant. Il est par conséquent nécessaire d'avoir la connaissance de l'ensemble de la trajectoire passée d'évolution du revenu, puis de projeter les trajectoires futures des revenus pour en déduire la trajectoire future d'usage de la voiture. Une possibilité pour résoudre ce problème consiste à estimer des élasticités asymétriques en cas de hausse et de baisse comme dans *Dargay (2001)*. Des effets asymétriques entraînent des phénomènes d'*hysteresis*, à savoir qu'une évolution à rebours n'entraîne pas nécessairement un retour aux conditions initiales.

Instantanéité des effets

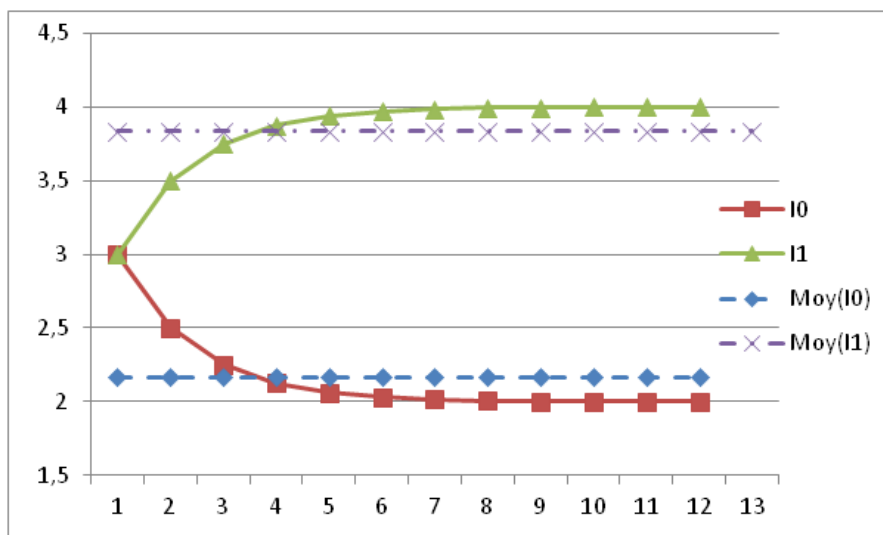
Pour expliquer l'écart entre estimations transversales et longitudinales des paramètres d'un modèle – et des élasticités – il est souvent fait référence à des arguments basés sur la temporalité des effets. Cette interprétation est notamment proposée par *Mundlak (1978)* pour expliquer cet

écart dans le cas des modèles sur données de panel. Il établit en effet que, la durée d'observation d'un même individu étant généralement courte dans le cas de données de panel, l'estimateur *within* peut être assimilée à une sensibilité à court terme, ne prenant pas entièrement en compte les effets différés des variables exogènes. A l'inverse, l'estimation *between* se rapprocherait davantage d'un équilibre de long terme, les différences permanentes entre individus résultant de l'accumulation des effets différés des facteurs sur une longue période. Les effets de long terme étant généralement supérieurs aux effets de court terme, les estimations *between* des élasticités tendront à être supérieures à leurs estimations *within*, du moins pour les aménités encore caractérisées par une diffusion hétérogène au sein de la population.

Baltagi et Griffin (1983), cette fois-ci dans le cadre d'une étude empirique, interprètent l'écart entre estimations transversales et longitudinales des élasticités de la consommation de carburants à leur prix comme une différence entre effets de court terme et de long terme. Cette interprétation est également validée par *Sterner (1990)* et *Dahl (1995)*. En vertu de celle-ci, les effets de long terme d'une augmentation de prix des carburants sur leur consommation finale seraient trois fois plus importants que les effets immédiats.

Toutefois, les études empiriques qui comparent les résultats de modèles statiques à ceux de modèles dynamiques tendent plutôt à montrer que les estimations transversales obtenues à partir de modèles statiques se situeraient à mi-chemin entre les estimations de court terme et les estimations de long terme qui peuvent être obtenues à partir d'une spécification dynamique, traduisant un ajustement incomplet aux variations des conditions économiques (*Graham and Glaister, 2002*).

Ce résultat peut se comprendre intuitivement en partant d'un graphique.



Graphique 24 : Estimations transversales, longitudinales de court terme et longitudinales de long terme

On considère en effet deux individus ayant initialement le même revenu, mais pour l'un d'entre eux, le revenu augmente, tandis que pour l'autre il diminue. Cette augmentation a lieu la première année, après quoi les revenus des deux individus demeurent stables. Toutefois, les variations de revenu ne produisent pas immédiatement tous leurs effets, mais certains d'entre eux sont différés. Un certain temps est donc requis pour permettre à l'usage de la voiture de s'ajuster aux variations de revenu. Si on prend par exemple les individus à l'instant $t = 2$, ces derniers n'ont eu le temps

d'ajuster leur niveau d'usage de la voiture que de moitié par rapport au niveau d'usage souhaité. On parle dans ce cas d'ajustement partiel.

Supposons qu'on évalue l'effet moyen du revenu sur l'usage de la voiture, à partir d'une estimation *between*, c'est-à-dire qu'on rapporte la différence de niveau moyen d'usage de la voiture à la différence de niveau moyen de revenu entre les deux individus. Le niveau moyen d'usage de la voiture est obtenu en effectuant la moyenne des termes de chaque série.

La première série a pour terme général :

$$A_N = 3 + \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{2}\right)^n = 4 - \left(\frac{1}{2}\right)^N, n=1 \text{ à } N, A_0=3, \text{ convergeant vers } 4.$$

La seconde série a pour terme général :

$$A_N = 3 - \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{2}\right)^n = 2 + \left(\frac{1}{2}\right)^N, \text{ convergeant vers } 2.$$

L'usage moyen de la voiture dans la première série pour les N premiers termes de la série est égal à :

$$\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N \left[4 - \left(\frac{1}{2}\right)^n \right] = \frac{1}{N} \left[4N + 2 + \frac{1}{2^N} \right]$$

De même pour la seconde série, on obtiendra $\frac{1}{N} \left[2N + 4 - \frac{1}{2^N} \right]$, l'écart de niveau d'usage moyen entre les deux individus étant égal à $\frac{1}{N} \left[2N - 2 + \frac{1}{2^{N-1}} \right]$

En pointillés, on a représenté la moyenne pour les douze premiers termes de la série, par exemple. L'estimation *between* de la différence d'usage est intermédiaire entre l'estimation à court terme et l'estimation à long terme, car les écarts observés manifestent des processus d'adaptation aux variations des conditions exogènes qui sont encore inachevés. Plus les observations seront proches du début du processus d'adaptation, plus les estimations transversales tendront à traduire des adaptations à court terme. La nature des estimations transversales, plus proche d'estimations de court terme ou à l'inverse d'estimations de long terme, est donc contingente à la période d'observation.

Exogénéité des variables explicatives

L'endogénéité est également identifiée dans la littérature comme l'une des principales sources de divergence entre estimations transversales et longitudinales, en particulier par *Mundlak (1978)*. D'une manière générale, l'endogénéité est causée par l'existence de facteurs non-observés corrélés simultanément avec la variable dépendante et l'une ou plusieurs des variables exogènes. L'endogénéité est donc fréquemment provoquée par l'omission de variables importantes, conduisant à une « mauvaise spécification » du modèle. Toutefois, cette vision semble quelque peu idéale, dans la mesure où la capacité à spécifier un modèle correctement présente toujours des limites à la fois théoriques et pratiques. Sur le plan théorique, la connaissance du phénomène à expliquer manifeste au mieux l'état de l'art ou de la science dans une discipline, qui est par nature toujours limité et incomplet – même si la science progresse continûment – mais plus souvent le niveau de connaissance et de compréhension de l'analyste, qui sera en général plus restreint que l'état de l'art dans une discipline, mais pourra en même temps y contribuer par des

apports originaux. Il est en l'occurrence vain de croire que l'ensemble des facteurs déterminants d'un phénomène sont parfaitement connus, même dans une discipline ancienne et bien établie. Sur le plan pratique, la modélisation est également susceptible d'être contrainte par certaines limites inhérentes aux données auxquelles l'analyste a accès, qui peuvent ne pas inclure certaines variables dont l'influence est pourtant importante. Pour l'ensemble de ces raisons, le risque d'endogénéité est presque toujours présent, et les prévisions issues de modèles devraient toujours être considérées, non comme des vérités révélées, mais au mieux comme des extrapolations reflétant l'état de la connaissance sur les déterminants du phénomène modélisé et les scénarios les plus probables d'évolution des facteurs, susceptibles d'aider les décideurs à se projeter dans l'avenir.

En raison de corrélations possibles entre les perturbations du modèle et les variables explicatives, les estimations des paramètres associés aux variables exogènes peuvent être biaisées, et par conséquent les prévisions qui en découlent, car on aura :

$$E(\varepsilon|X) \neq 0 \Leftrightarrow E(Y|X) \neq \hat{\beta}X$$

Dans le cas spécifique des données de panel, les perturbations sont susceptibles d'être auto-corrélées à travers le temps en raison de la présence d'effets spécifiques individuels permanents. Dans ce contexte, *Mundlak (1978)* a montré que les estimations longitudinales ou *within* sont non-biaisées (en l'absence d'effets de période), car elles sont indépendantes de la distribution des effets spécifiques individuels, tandis que les estimations transversales ou *between* sont habituellement biaisées, car elles requièrent des hypothèses restrictives sur la distribution conditionnelle des effets spécifiques individuels, qui ne sont pas toujours vérifiées dans la pratique. Il montre, dans le cadre du modèle à effets fixes, que la différence entre estimations transversales et longitudinales peut s'expliquer par la présence de corrélation entre les effets spécifiques individuels et les variables exogènes.

Mundlak (1978) part de l'écriture sous forme matricielle du modèle avec effets spécifiques individuels:

$$Y = X\beta + Z\alpha + u, \text{ avec } u \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2 I_N) \text{ et } E(u'X) = E(u'Z\alpha) = 0$$

Dans cette expression, Z est une matrice de variables qualitatives binaires, avec $Z = I_N \otimes e_T$

L'opérateur Z est celui qui, appliqué à α , répète T fois la valeur de chaque α_i . Cependant, il se place dans le cadre plus général du modèle à effets fixes, c'est-à-dire qu'il autorise l'existence de corrélation entre α et X , en introduisant la régression auxiliaire :

$$\alpha_i = X_{it}\pi + w_{it}$$

Dans cette écriture, les effets individuels sont spécifiés sous une forme particulière, dans laquelle ils sont supposés être linéairement dépendants des variables explicatives. En calculant les moyennes intra-individuelles pour l'ensemble des périodes, on obtient :

$$\alpha_i = X_i.\pi + w_i.$$

On a alors :

$$\pi = 0 \Leftrightarrow \text{les variables explicatives et les effets individuels sont non - corrélés}$$

On pose $K = I_N \otimes \frac{J_T}{T}$

Dans cette expression, J_T est la matrice constituée uniquement de 1.

En multipliant l'opérateur K par un T -vecteur quelconque u , on obtient le NT -vecteur constitué des T répétitions de chaque moyenne intra-individuelle de u .

On a :

$Z\alpha = K(X\pi + w)$, où w est le T -vecteur de w_{it} .

On en déduit :

$Y = X\beta + K(X\pi + w) + u$, avec $\varepsilon = u + Kw \sim (0, \sigma^2 I_{NT} + T\omega_1^2 K)$

Sous le modèle à effets aléatoires, on s'intéresse à l'espérance de Y conditionnellement à X et Z , soit :

$$E(Y|X, Z) = X(\beta + K\pi)$$

On voit dans ce cas que $E(Y|X, Z)$ dépend à la fois de X et des moyennes intra-individuelles de X .

Dans le modèle à effets fixes, on s'intéresse à l'espérance de Y conditionnellement à X et à α :

$$E(Y|X, Z\alpha) = X\beta + Z\alpha$$

Dans l'estimation du modèle à erreurs composées, conditionnellement à X et Z , *Mundlak (1978)* montre qu'on aboutit à :

$$\hat{b}_g = \hat{b}_w \text{ et } \hat{\pi}_g = \hat{b}_b - \hat{b}_w$$

Par conséquent, la corrélation $\hat{\pi}_g$ entre les effets individuels et les variables X apparaît comme l'explication de la différence entre \hat{b}_b et \hat{b}_w . *Mundlak (1978)* montre qu'en présence de corrélation, les estimateurs *between* et des *moindres carrés généralisés* du modèle à effets aléatoires sont biaisés, alors que l'estimateur *within* est non-biaisé.

On pourrait *a priori* déduire de ce résultat qu'il est toujours préférable de travailler dans la dimension longitudinale. Toutefois, il convient également de garder à l'esprit que sur données de panel, la durée d'observation des individus est généralement limitée, de sorte que les variations dans la dimension longitudinale reflètent surtout des effets de court à moyen terme alors qu'à l'inverse, les différences permanentes entre individus reflètent davantage un équilibre de long terme. En outre, les estimations longitudinales des paramètres présentent d'autres inconvénients, comme par exemple celui de faire disparaître les variables invariantes dans la dimension temporelle. Dans le cas de l'auto-mobilité, où les effets de génération et de sexe jouent un rôle très important, cette limitation est préjudiciable.

Idéalement, il faudrait donc mettre en œuvre une estimation longitudinale dans le cadre d'un modèle dynamique pour obtenir un estimateur non-biaisé des effets de long terme. Alternativement, il est aussi possible de conserver un modèle statique, tout en augmentant la

période d'observation. C'est le choix que nous avons retenu dans la section III.2, en ne conservant dans la modélisation que les individus présents pendant au moins cinq ans dans le panel. Dans ce cas, on produira, au moins pour l'usage des véhicules, les deux estimations, puis on interprétera les écarts éventuels entre estimations transversales et longitudinales, qui peuvent résulter, soit de corrélations entre les effets individuels et les variables explicatives, soit de différences entre estimations de court terme et de long terme. Cette méthode présente également l'avantage de la simplicité par rapport aux modèles dynamiques sur données de panel qui sont complexes à mettre en œuvre. Elle requiert toutefois un effort supplémentaire d'interprétation.

Notons enfin que pour certaines variables comme le revenu, l'approche longitudinale n'est pas la plus appropriée, compte tenu de la structure des données dans *ParcAuto*. Les variations intra-individuelles de revenu sont en effet faiblement significatives car les revenus étant déclarés avec une forte imprécision (par tranches), la variable de revenu est imputée par tirage aléatoire au sein de chaque tranche⁸². Les estimations *between* seront dans ce cas plus significatives. Le choix de la meilleure estimation dépend donc aussi des limites inhérentes aux données.

Déterminants des choix initiaux et déterminants des évolutions

Dans l'ensemble des cas d'étude précédents – effets hétérogènes, non-stationnaires, asymétriques, différés, endogènes – on part de situations initiales identiques, à partir desquelles l'hétérogénéité entre les individus ne va se manifester que progressivement, en résultant d'évolutions divergentes des variables exogènes au cours du temps. C'est ce type de raisonnement qui justifie en particulier l'interprétation de l'hétérogénéité comme le reflet d'un équilibre de long terme dans une partie de la littérature. Pour les raisons précédemment indiquées, cet équilibre de long terme ne peut toutefois pas nécessairement être interprété comme une mesure de sensibilité. Le premier exemple nous a montré en effet qu'en présence d'effets non-stationnaires ou hétérogènes, l'hétérogénéité des situations individuelles résultait d'évolutions cumulées et pouvait être, dans le cadre d'un processus en voie de ralentissement, nettement supérieure à la sensibilité des comportements aux variations des facteurs. Dans le second exemple, nous avons étudié les conséquences d'effets asymétriques, se traduisant par des phénomènes d'*hysteresis*, dans lesquels, en dépit de facteurs stationnaires, on n'observe pas nécessairement de retour aux conditions initiales. Dans ce cas, l'équilibre possible entre la distribution de la variable dépendante et celle des variables exogènes cesse d'être unique pour devenir infiniment multiple, la distribution du phénomène étudié ne dépendant plus seulement de la distribution actuelle des facteurs mais de l'ensemble de leurs trajectoires d'évolution au niveau individuel. Enfin, dans le cas d'effets différés, l'estimation transversale tend à représenter une estimation intermédiaire entre une mesure de court terme et une mesure de long terme. En tout état de cause, dans aucun de ces exemples, l'hétérogénéité ne peut être véritablement assimilée à une mesure de sensibilité, même à long terme.

Cependant, elle peut du moins être interprétée comme le résultat de processus évolutifs à long terme, qui sont plus complexes qu'une simple notion de sensibilité. Mais dans certains cas, on peut montrer que l'hétérogénéité interindividuelle ne s'explique pas uniquement par les processus évolutifs qui conduisent à la formation des équilibres de long terme. En effet, un dernier argument

⁸² En se limitant à l'étude des changements de tranche, il aurait sans doute été possible d'obtenir des résultats plus significatifs dans la dimension longitudinale. Toutefois, dans ce cas, il n'est plus possible d'estimer des élasticités puisqu'on ne travaille plus sur une variable continue.

conduisant à remettre en cause l'assimilation entre estimations transversales et longitudinales, est que l'hétérogénéité ne dépend pas seulement des effets cumulés des évolutions des situations individuelles au cours du temps, mais également de l'hétérogénéité des conditions initiales. Par conséquent, d'un point de vue économétrique, l'explication la plus simple et la plus fondamentale de l'absence d'équivalence entre variabilité transversale et longitudinale est peut-être que les facteurs qui déterminent la distribution des conditions initiales diffèrent de ceux qui en déterminent les évolutions au cours du temps, ou du moins, qu'ils n'exercent pas une influence homogène sur la distribution des conditions initiales et sur les évolutions des situations individuelles au cours du temps. Cependant, cette non-équivalence ne peut pas se justifier par des raisons purement techniques. Il n'y a pas de raisons, en effet, que l'influence du revenu, par exemple, soit différente sur les choix initiaux de motorisation que sur leur évolution au cours du temps, sauf si les processus comportementaux qui sont mis en œuvre à chaque étape diffèrent. Il existe donc des facteurs économiques et psychologiques qui sont à l'origine de cette non-équivalence.

Une meilleure compréhension de cette non-équivalence pourrait sans doute être obtenue à partir de modèles dynamiques, dans lesquels on modéliserait, d'une part la distribution des conditions initiales, d'autre part les évolutions au cours du temps, en ne supposant pas *a priori* ces processus comme étant homogènes, c'est-à-dire en laissant ouverte la possibilité que les déterminants des conditions initiales diffèrent de ceux des évolutions, et en fixant les conditions initiales de façon non-arbitraire, c'est-à-dire de manière spécifique à chaque individu. Cette modélisation est toutefois rarement possible dans la pratique, en raison de la faible durée d'observation des panels qui ne permettent pas, le plus souvent, d'isoler le moment du changement du lieu de résidence, ou du moins qui limite la taille des échantillons disponibles pour une telle étude, et réduit de ce fait la précision des estimations qui pourraient en être déduites. Une possibilité de mettre en œuvre une telle étude serait néanmoins d'utiliser les données de *l'Echantillon Démographique Permanent (EDP)* du recensement de la population qui permet le suivi d'un grand nombre d'individus en panel pour quelques variables-clefs de la mobilité – motorisation, distance domicile-travail – ainsi que de détecter les changements de lieu de résidence. On ne pourra pas disposer à partir de cette source, en revanche, des kilométrages annuels parcourus.

II.3.c.4) Des conditions souvent violées dans la pratique

Un certain nombre d'analyses de la mobilité, des taux de motorisation ainsi que d'autres postes de dépenses des ménages montrent que ces conditions sont souvent violées dans la pratique.

Hétérogénéité et non-stationnarité – processus de saturation

Par exemple, l'analyse des Enquêtes Nationales Transport successives réalisée dans le chapitre I nous a montré que l'influence exercée par les déterminants des comportements de mobilité n'était pas stable mais évoluait au fil du temps. En particulier, on a montré que l'hétérogénéité des comportements en fonction des caractéristiques du lieu de résidence tendait à se renforcer, tandis qu'à l'inverse, les facteurs sociodémographiques perdaient une partie de leur influence pour l'explication des comportements.

La question de l'influence du revenu sur les niveaux de motorisation et d'usage de la voiture est sans doute l'une des mieux documentées. Il est généralement observé que les estimations obtenues pour les élasticités du trafic ou du niveau d'équipement automobile au revenu diminuent au fil du temps. Ce déclin peut être expliqué par le processus de convergence de la demande vers

la saturation (*Dargay et al., 2000 ; Graham et Glaister, 2004 ; Goodwin et al., 2004*). *Goodwin (1992)* a montré que l'équipement automobile a augmenté plus vite que le revenu jusqu'au début des années 1970, et à peu près au même rythme que le revenu dans la période du début des années 1970 au milieu des années 1990. *Goodwin et al. (2004)* montrent, à partir de modèles statiques, que l'élasticité-revenu de la consommation de carburant peut être estimée à + 0,63 pour la période antérieure à 1974, + 0,43 pour la période 1974-81, et + 0,14 pour la période après 1981. Pour l'élasticité au revenu du trafic automobile, le déclin s'observe seulement pour la période postérieure à 1981, l'élasticité-revenu progressant d'abord de + 0,30 à + 0,57 entre la période antérieure à 1974 et la période 1974-81, puis diminuant à + 0,49 dans la période après 1981. Le sens de variation des élasticités-revenu au cours du temps peut sans doute être rapporté au stade atteint par le processus de diffusion de l'automobile, le déclin ne survenant qu'en phase de maturité du marché, quand la diffusion se poursuit tout en commençant à ralentir. *Dargay et Gately (1997)* observent que l'élasticité-revenu du taux de motorisation est négativement corrélée avec les niveaux de revenu et d'équipement déjà atteints, ce qui se traduit en 1992 par des élasticités plus importantes dans les pays en voie de développement que dans les pays de l'OCDE, respectivement de + 1,6 contre + 1.

Il est vraisemblable que le point d'inflexion dans la diffusion de l'automobile ait été atteint vers le début des années 1980. A mesure qu'on se rapproche de la saturation, l'hétérogénéité des niveaux d'équipement et d'usage tend à décroître, tandis que la sensibilité aux augmentations de revenu devient également plus hétérogène, avec un ralentissement dans les niveaux de vie supérieurs et une diffusion qui se poursuit dans les couches moyennes ainsi que chez les plus pauvres, en raison de réserves de demande potentielle encore importantes.

Asymétrie

Les processus de diffusion d'un bien sont généralement caractérisés par une asymétrie ou des phénomènes d'*hysteresis*, à savoir qu'un retour aux conditions initiales n'entraîne pas nécessairement de retour de la variable dépendante à sa valeur initiale. Dans le cas de l'automobile, *Dargay (2001)* a montré que l'élasticité du taux de motorisation par rapport aux augmentations et aux baisses de revenu étaient asymétriques, les ménages ayant tendance à augmenter leur niveau d'équipement en cas de hausse du revenu, mais à le conserver en cas de baisse du revenu. Ce sujet a également été étudié par *Pendyala et al. (1995)*. *Dargay (2001)* montre, à partir d'une spécification dynamique dans le cadre d'une analyse de type pseudo-panel, estimée sur les enquêtes *Budget des Familles* au Royaume-Uni (*UK Family Expenditure Surveys*), que l'élasticité de long terme du taux de motorisation en fonction du revenu est en moyenne de + 0,74 en cas d'augmentation du revenu, contre seulement + 0,28 en cas de baisse du revenu.

Un autre exemple est celui des effets de localisation, présenté dans *Madre et Gardes (2005)*, qui relèvent que les comportements des nouveaux résidents dans les zones périurbaines diffèrent de ceux des anciens résidents, avec des taux de motorisation et des distances de déplacements plus élevés pour les nouveaux que pour les anciens résidents. De ce fait, l'effet d'un changement de lieu de résidence n'est pas symétrique, l'effet d'un déménagement du centre-ville vers les communes périurbaines étant supérieur à celui d'un déménagement en sens inverse, car les mobilités résidentielles en sens opposés sont le fait de générations différentes, caractérisées par un rapport différent à l'auto-mobilité. Les anciens résidents, appartenant à des générations plus anciennes, ont conservé, en dépit de la diffusion de l'automobile, des comportements traditionnels, avec un habitat plus proche des bourgs, tandis que les nouveaux résidents ont nourri la dynamique de l'étalement urbain. En raison de ces écarts intergénérationnels, les différences d'usage de la

voiture entre les agglomérations et les espaces périurbains se sont accrues au fil du temps. Dans cet exemple, les écarts de comportements entre générations induisent simultanément un renforcement des contrastes territoriaux et des effets asymétriques.

Temporalité

Il a été montré que les effets de variations de revenus ou de prix des carburants sur les niveaux d'équipement et d'usage de la voiture ou encore de consommations de carburants n'étaient généralement pas instantanés, mais progressifs. L'ensemble des revues d'études économétriques réalisées à ce jour montrent que les élasticités de long terme sont généralement supérieures aux élasticités de court terme (*cf. section III.2.d.5*). La temporalité est souvent invoquée dans la littérature pour expliquer les écarts entre estimations transversales et longitudinales, les estimations transversales étant interprétées comme le résultat d'un équilibre de long terme, tandis que, sur données de panel où la période d'observation par individu est faible, les estimations longitudinales sont le plus souvent interprétées comme étant de court terme, par exemple dans *Baltagi et Griffin (1983)*. Toutefois, ainsi que le relèvent *Graham et Glaister (2004)*, en pratique, les estimations transversales obtenues à partir de modèles statiques sont souvent intermédiaires entre des estimations de court terme et de long terme obtenues à partir de modèles dynamiques.

Endogénéité

Les problèmes d'endogénéité, ou de corrélation entre les effets individuels non-observés et les variables explicatives, sont parfois mis en avant pour expliquer l'écart entre estimations transversales et longitudinales. Cette hypothèse est par exemple avancée dans *Gardes et al. (1996)*, à partir de l'exemple des élasticités-revenus des différents postes budgétaires des ménages canadiens, ou encore dans *Gardes et al. (2005)*, sur l'exemple des élasticités-revenus des dépenses alimentaires des ménages polonais. De ces résultats se dégagent des enseignements qui tendent à contredire les hypothèses implicites énoncées dans la section précédente. En particulier, les effets estimés n'étant pas stables dans le temps, leur horizon de validité est limité, ce qui limite la précision des prévisions à long terme. A l'heure actuelle, cette variabilité des effets au cours du temps n'est que partiellement prise en compte dans les modèles nationaux de la demande de transport *via* la réévaluation des prévisions après chaque Enquête Nationale Transport. Notons toutefois que la décroissance tendancielle des élasticités est explicitement prise en compte dans les projections du *Department for Transport (DfT)*, qui prévoient une baisse de l'élasticité du trafic routier par personne au PIB/tête de + 0,28 à + 0,19 entre 2010 et 2035.

II.3.c.5) Les processus économiques sous-jacents aux violations des conditions d'équivalence

Jusqu'à présent, les explications mises en avant pour expliquer les écarts entre estimations transversales et longitudinales des élasticités, ainsi que leur variabilité au cours du temps, sont de nature économétrique. Toutefois, ces explications de nature « technique » sont susceptibles de recouvrir différents processus économiques sous-jacents, qui en sont à l'origine. Les deux niveaux d'explication ne sont pas contradictoires mais complémentaires, la première famille d'explications se rapportant à des arguments techniques, la seconde à l'analyse des causes susceptibles d'induire

une violation des conditions techniques d'équivalence. On propose ici certaines interprétations économiques de la violation des conditions d'équivalence, en nous appuyant sur la littérature.

Processus de diffusion d'un bien durable

Un premier argument, déjà souligné à de multiples reprises pour expliquer la non-stationnarité et l'hétérogénéité de certains effets, par exemple celui du revenu, se rapporte aux répercussions du processus de diffusion d'un bien durable, qui entraîne une diminution tendancielle des élasticités en phase de convergence vers la saturation. En effet, la marge de diffusion du bien diminue, et l'effet de l'augmentation des revenus sur sa diffusion est donc de plus en plus faible - même si l'utilité de sa détention augmente - car sa diffusion est presque complète. Au fil du temps, le bien passe du statut de bien supérieur à celui de bien intermédiaire, puis à celui de bien de première nécessité, et les inégalités se réduisent ou se déplacent vers d'autres biens ou encore vers les caractéristiques du bien - véhicules haut de gamme ou d'entrée de gamme (Coulangeon et Petev, 2013).

La loi des rendements marginaux décroissants

Si on se réfère maintenant non plus à la possession d'un bien mais à son usage, par exemple l'utilisation des véhicules, une interprétation possible de la non-stationnarité et de l'hétérogénéité des effets réside dans le déclin de l'utilité marginale des usages supplémentaires, qui est aussi parfois désignée comme la « *loi des rendements marginaux décroissants* ». Ainsi, les usages les plus nécessaires seraient satisfaits en premier lieu, tandis que par la suite, les usages additionnels correspondraient à des pratiques de plus en plus superflues. Par exemple, à mesure que les besoins de mobilité essentiels sont satisfaits, la mobilité additionnelle est d'une utilité marginale décroissante.

Coût d'opportunité du temps passé et choix modal

La loi des rendements marginaux décroissants exerce une influence au stade de la génération des déplacements, qui ralentit à partir d'un certain stade de bien-être et de mobilité déjà atteinte. Cependant, le déclin de l'utilité marginale d'une mobilité additionnelle en voiture n'est pas nécessairement équivalent au déclin de l'utilité marginale d'une mobilité additionnelle tout court. Le ralentissement de la mobilité en voiture peut ainsi s'expliquer par une modification du choix modal, dans laquelle l'utilité de déplacements supplémentaires ou à plus longue portée serait plus grande lorsque ces derniers sont réalisés par d'autres modes. Un exemple d'une telle substitution est fourni par les déplacements de longue portée, en particulier les déplacements à plus de trois-cents kilomètres, dans la mesure où ces derniers peuvent être effectués plus rapidement avec le train à grande vitesse, tandis que l'usage de la voiture tend à ralentir sa progression pour cette gamme de distances, pour des raisons liées à la valeur du temps. Le choix de mode peut aussi être relié au coût d'opportunité du temps passé dans les transports. L'utilité intrinsèque des déplacements dans les transports en commun est souvent mise en avant, dans la mesure où le temps de transport peut être « rentabilisé » en effectuant d'autres activités, ce qui est impossible avec la voiture, qui requiert une attention de tous les instants de la part du conducteur. Tant la question de la valeur du temps que celle du coût d'opportunité du temps passé tendent à gagner en importance à mesure que les revenus et la catégorie socioprofessionnelle des actifs s'élèvent, avec des contraintes temporelles renforcées sur les agendas personnels. Dans ce cas, ce n'est pas nécessairement l'utilité marginale de la mobilité supplémentaire qui décroît, mais seulement celle de la mobilité supplémentaire en voiture, les choix tendant à se reporter vers les autres modes.

Arbitrage entre service autoproduit et service marchand

Une interprétation économique du coût d'opportunité proposée par *Madre et Gardes (2005)* est celle de l'arbitrage entre services autoproduits à travers l'équipement en biens durables et services marchands, pour expliquer l'écart entre estimations transversales et longitudinales des élasticités par rapport au revenu des biens et services de transport constaté à partir des enquêtes *Budget des Familles* en France, en Pologne et au Canada.

Diverses études économétriques (*Gardes et al., 1996 ; Cardoso et Gardes, 1996 ; Gardes et al., 2005*) tendent ainsi à montrer qu'avec l'élévation de la valeur du temps, pour l'ensemble des postes de consommation, la demande se reporte de la consommation de services autoproduits à travers l'équipement en biens durables vers la consommation de services marchands. L'arbitrage entre services autoproduits et services marchands est en fait un arbitrage entre le temps requis pour l'autoproduction du service et le coût monétaire de son acquisition sur le marché, donc un arbitrage entre coût monétaire et coût temporel de la production du service. Avec l'élévation du niveau de vie de la population, le coût d'opportunité du temps passé tend à augmenter, c'est-à-dire que le temps disponible étant de plus en plus limité, le temps consacré à l'autoproduction du service le serait au détriment d'autres activités de plus grande valeur, ce qui tend à entraîner un report de la demande vers des services marchands, moins consommateurs de temps. La contrainte financière se desserrant et le temps disponible se raréfiant, le coût temporel tend à primer sur le coût financier dans l'arbitrage des agents.

Dans le cas de l'équipement automobile, cette logique amène à considérer que la demande se reporte, au-delà d'un certain niveau de revenu, de l'usage de la voiture vers celui des transports collectifs. En effet, bien que la « production » du « service de transport » que constitue l'usage d'un véhicule personnel ne nécessite pas de temps en lui-même, le temps passé dans la voiture représente une désutilité pure, tandis que le temps passé dans des transports collectifs non saturés présente une utilité intrinsèque, dans la mesure où il peut être consacré à d'autres activités.

Madre et Gardes (2005) soutiennent qu'en raison du coût d'opportunité du temps passé sur toute activité non-productive, le prix perçu des services autoproduits est supérieur à leur prix réel, c'est-à-dire que le coût monétaire du service, serait augmenté, dans l'esprit du consommateur, d'un coût temporel. A l'inverse, le prix perçu des services marchands pourrait être inférieur à leur coût monétaire. Le prix serait donc constitué d'une composante monétaire observée et d'une composante temporelle inobservée ou virtuelle. On se ramène dans ce cas à un problème classique d'endogénéité : l'estimation de l'effet de revenu est biaisée en raison de la composante temporelle du prix perçu, qui est non-observée et corrélée avec le revenu.

La question du coût temporel de la mobilité est une question récurrente dans le champ des transports. Historiquement, elle a surtout fait l'objet de développements au travers de la notion de *valeur du temps*, qui a été beaucoup utilisée pour les prévisions de trafic et l'évaluation socio-économique amont de l'opportunité des projets d'infrastructures⁸³. Par les techniques de

⁸³ Avec une critique récurrente qui est la surpondération de la valeur du temps par rapport à d'autres critères, tels que les externalités environnementales, à une époque où la justification des projets d'infrastructure aux yeux de l'opinion publique était plus facile à obtenir par la technocratie et les autorités, et où les critiques environnementales étaient encore relativement limitées. Les valeurs du temps peuvent en fait être définies de manière légale et conventionnelle, auquel cas elles reflètent le poids que la puissance publique entend attribuer au critère de temps par rapport à d'autres critères dans l'évaluation *a priori* de l'opportunité des projets d'infrastructure, du point de vue de l'intérêt général, ou elles peuvent refléter les choix effectués par les ménages, lorsqu'elles sont mises en évidence à partir d'enquêtes de préférences déclarées. Dans le premier cas, elles représentent donc le point de vue de la collectivité, qui

modélisation, en effet, il est possible d'estimer une *désutilité* induite par le temps de déplacement, et en supposant une équivalence avec son coût monétaire, de calculer une *valeur du temps*, correspondant à la pondération du critère temporel dans les choix individuels. La monétarisation du temps passé permet de considérer que le coût total du déplacement, ou *coût généralisé*, est constitué d'une composante strictement monétaire et d'une composante temporelle. Ce procédé du calcul économique basé sur la monétarisation peut aussi être utilisé pour d'autres attributs tels que le confort, les nuisances environnementales, etc.

On note l'analogie entre le raisonnement de *Madre et Gardes (2005)* décomposant le prix total perçu entre une composante réelle et une composante virtuelle tenant compte du coût d'opportunité, et le calcul du coût généralisé, constitué d'une composante monétaire et d'une composante temporelle. Toutefois, la notion de *valeur du temps* implique que le temps de déplacement est seulement générateur de désutilité. Des approches plus récentes telles que celle de *Papon et al. (2008)* suggèrent de considérer que le temps de transport peut avoir une *utilité intrinsèque*. Selon ce raisonnement, le temps de déplacement comporte une dimension qualitative en plus d'un aspect quantitatif, qui serait favorable aux transports publics, puisque ces derniers permettent une utilisation active du temps de déplacement quand le confort est suffisant. L'argument du coût d'opportunité du temps favorisant les services marchands par rapport aux services autoproduits à travers l'équipement en biens durables est donc voisin de celui qui est développé *via* la notion d'utilité intrinsèque.

L'argument de coût d'opportunité du temps entraînant un report des plus riches de la consommation de biens durables vers la consommation de services semble assez bien pouvoir s'appliquer au transport à longue distance. La mobilité à longue distance demeure pour l'instant très concentrée sur les cadres et les professions intellectuelles supérieures, qu'il s'agisse de mobilité pour motifs personnels ou professionnels. En particulier, les facteurs de coût temporel jouent certainement un rôle très important dans l'essor du train à grande vitesse, compte tenu à la fois des gains de temps permis par la grande vitesse et de l'utilité intrinsèque des déplacements.

L'argument est déjà moins convaincant pour l'avion, dont l'essor récent a surtout été permis par l'arrivée des compagnies aériennes à bas coût qui, en rendant le transport aérien abordable pour les classes populaires, a contribué à démocratiser sa clientèle. Il est encore plus contestable pour la mobilité quotidienne, où les effets de substitution semblent plutôt jouer en sens inverse, l'offre de transport public étant financièrement avantageuse sur la possession et l'usage de la voiture (*Beauvais, 2012*). Les analyses conduites dans le chapitre I montrent ainsi plutôt un report modal vers les transports en commun dans les années 2000. Dans ce cas, les effets de substitution semblent plutôt motivés par des considérations monétaires que par la recherche de gains de temps.

Le même constat semble pouvoir s'appliquer aux utilisateurs de services de covoiturage pour lesquels les considérations monétaires prévalent sur l'argument de coût d'opportunité du temps. Selon une étude réalisée par *BlaBlaCar (2015)*, le profil de la clientèle est constitué aux deux tiers de jeunes cadres et pour près de la moitié de jeunes adultes (18-29 ans), ce qui pourrait laisser penser que la possibilité de réaliser des activités pendant le trajet ou l'aspect convivial du voyage partagé jouent un rôle essentiel dans le choix de recourir à ces services. Cependant, selon une autre étude de la *MAIF (2009)* sur les usages et les attitudes des utilisateurs d'un site Internet de covoiturage, la principale motivation consisterait à réaliser des économies financières en

est dans une large mesure défini politiquement par les institutions détentrices de l'autorité en la matière, tandis que dans le second cas, elles traduisent plutôt les préférences individuelles.

partageant les coûts de péage et de carburant : l'argument financier est ainsi évoqué par 94 % des utilisateurs et représenterait même le principal motif d'utilisation pour 70 % d'entre eux. Toutefois, il convient de remarquer que ces deux études sont assez distantes dans le temps et que le profil et les motivations des utilisateurs du covoiturage sont susceptibles d'avoir évolué. Les résultats de l'enquête MAIF semblent néanmoins conformes au bon sens, dans la mesure où la voiture est rarement compétitive avec le train en termes de temps de parcours sur les longs trajets, et où les voyages en train présentent également un avantage sur la voiture au regard de la possibilité de réaliser diverses activités pendant le trajet. Il est donc probable que le motif économique joue un rôle prépondérant dans la décision de recourir aux services de covoiturage.

Epargne, accumulation et conservation du capital

L'existence d'élasticités asymétriques au revenu a été mise en évidence dans le cas du taux d'équipement automobile. On peut néanmoins supposer qu'il s'agit d'un phénomène commun à l'ensemble des processus de diffusion de biens durables. Un capital, en effet, présente un coût d'acquisition supérieur à son coût de conservation. Une fois acquis, le capital peut être conservé en réduisant son coût d'usage. Par exemple, un ménage subissant des contraintes financières préférera, au moins dans un premier temps, réduire l'usage de ses véhicules plutôt que de s'en séparer. En effet, un capital remplit une fonction assurantielle. Par exemple, la voiture constitue une assurance en matière de mobilité, un potentiel de mobilité autonome. Psychologiquement, il est sécurisant pour les individus et les ménages de conserver ce potentiel, même si l'usage en est différé. En cas de réduction de l'usage, le coût de conservation du capital se réduit aux coûts fixes (assurances, contrôle technique...), les coûts en carburant de même que les coûts de réparation et d'entretien étant indexés sur l'usage.

En cas de hausse de leurs revenus, les ménages sont en mesure de consacrer une proportion plus élevée de leur épargne à la constitution d'un apport personnel ou au remboursement d'un crédit pour l'acquisition d'un véhicule. Il est raisonnable de supposer que le taux d'équipement automobile, représentant un stock ou un capital – même s'il s'agit d'un capital fondant, dont la valeur s'use au cours du temps - est davantage susceptible de s'expliquer par l'épargne cumulée des ménages, et donc par leur revenu permanent, que par leurs revenus de l'année. La variabilité du revenu influe sur la capacité d'épargne des ménages, qui est susceptible d'induire une baisse de la croissance du taux d'équipement, mais pas nécessairement un recul du taux d'équipement lui-même.

Le cas limite présenté plus haut - hausse du taux d'équipement en cas de hausse du revenu, stabilité en cas de baisse - pourrait correspondre à la situation de ménages qui se situent à la limite du seuil de revenu leur permettant de dégager une capacité d'épargne, compte tenu de leurs dépenses contraintes et de leurs charges quotidiennes. Les années de hausse de leurs revenus, ils parviendraient à dégager une capacité d'épargne tandis qu'à l'inverse, ils n'y parviendraient pas en cas de baisse de leurs revenus. Un ménage dont le revenu est stationnaire mais avec une alternance entre des périodes de hausse et de baisse parviendrait donc à dégager une capacité d'épargne à long terme, tandis que celui dont le revenu demeure constant n'y parviendrait pas. La différence à long terme dans la capacité d'épargne cumulée dégagée par ces deux individus, en dépit d'une tendance analogue à avoir un revenu stationnaire, permet d'expliquer les évolutions hétérogènes de leur taux d'équipement, qui augmente chez le premier alors qu'il demeure stable chez le second.

Pour les ménages dont le revenu est nettement supérieur au seuil leur permettant de dégager une capacité d'épargne, on peut penser que le taux d'équipement continuera d'augmenter, quoiqu'à un rythme variable, car ils peuvent continuer de capitaliser chaque année. Ces résultats soulignent sans doute les limites liées à l'utilisation d'une variable de flux (le revenu annuel) pour modéliser un stock de capital (le taux d'équipement des ménages). L'évolution du taux d'équipement semble d'ailleurs plutôt indiquer un *trend* régulier de croissance à long terme, le processus de diffusion étant favorisé par la baisse des coûts et la capacité des ménages à dégager régulièrement une capacité d'épargne cumulée pendant plusieurs années consécutives. Une possibilité pour rendre compte de cette dynamique pourrait consister à modéliser la croissance du taux d'équipement plutôt que le taux d'équipement lui-même comme une fonction des revenus distribués et des prix d'acquisition des véhicules, puis d'utiliser ce modèle pour projeter la demande future sur la base d'itérations successives, à partir de scénarios relatifs à l'évolution future des revenus et des prix des véhicules. Il faut alors être en mesure de disposer de la distribution initiale des niveaux de motorisation au sein de la population, et de projeter en même temps l'évolution de la population future.

Adaptations à court terme et à long terme

Le caractère progressif des adaptations dans les niveaux d'équipement et d'usage de la voiture a déjà été souligné dans la section II.1.b.1. Il est mis en évidence dans de nombreuses études, particulièrement pour les effets des variations de prix des carburants. On a montré en particulier que le temps d'ajustement des ménages aux évolutions de prix des carburants pouvait être décomposé de la manière suivante :

- Le temps nécessaire pour que l'information soit prise en compte et considérée comme significative ;
- Le temps nécessaire à la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation. A court terme, il s'agit le plus souvent d'ajustements à la marge, ne nécessitant pas d'évolutions majeures du mode de vie. A plus long terme, il s'agit de décisions plus importantes, qui nécessitent donc également un temps plus important pour être mises en œuvre. Pour une description détaillée de ces mesures d'adaptation dans le cas de l'usage de la voiture, voir la section II.1.b.1.

Auto-sélection

L'endogénéité peut résulter de processus d'auto-sélection, en particulier lorsque des préférences individuelles non-observées sont corrélées avec certaines des variables explicatives du phénomène modélisé. Un exemple mentionné précédemment est le coût d'opportunité du temps passé, qui est corrélé avec le revenu. En l'absence de prise en compte du coût d'opportunité, on est conduits à sous-estimer l'effet net du revenu sur l'usage de la voiture chez les plus riches et à le surestimer chez les plus pauvres, et inversement pour le recours aux services de transport collectif. Un autre exemple d'endogénéité est constitué par les phénomènes d'auto-sélection, par exemple l'auto-sélection des *dieselistes*. En effet, l'estimation de l'effet du prix du carburant sur l'usage de la voiture peut être biaisée par le fait que les utilisateurs intensifs de la voiture tendent à privilégier les motorisations *diesel*, moins coûteuses. Dans ce cas, les différences de niveaux d'usage des véhicules selon les prix des carburants ne reflètent pas seulement l'effet de prix mais également un

phénomène d'auto-sélection des utilisateurs, le choix de motorisation étant endogène par rapport au niveau d'usage souhaité.

Facteurs de choix initiaux et facteurs d'évolution des comportements

Mais l'explication la plus naturelle et la plus simple de la différence entre estimations transversales et longitudinales est peut-être simplement que les facteurs d'hétérogénéité des comportements entre individus sont différents des facteurs qui déterminent leurs évolutions. Ce processus peut être représenté par l'exemple d'un ménage qui s'installe dans un nouveau logement au sein d'une commune périurbaine. Le changement de lieu de résidence correspond souvent à une nouvelle étape de la vie, et s'inscrit dans le cadre d'un projet de vie dont il constitue l'élément central, mais qui implique également des évolutions dans les comportements de mobilité ainsi que dans d'autres aspects du mode de vie. Ainsi, tout changement d'étape dans la vie des individus et des ménages peut être vu comme un moment particulier de leur existence, une période de transition et de changement, qui les conduit à ouvrir le champ des possibles et à renégocier certains arbitrages (Meissonnier, 2015). La réalisation du projet de vie peut impliquer, en particulier, le consentement des ménages à certains sacrifices et l'acceptation de certaines contraintes qu'ils n'auraient pas accepté en temps normal, notamment au niveau des distances et des temps de transport, ainsi que budgétaires. Cette notion de projet de vie est susceptible d'expliquer, notamment, que les taux d'effort pour le transport consentis par les ménages qui décident de migrer vers le périurbain, soient nettement supérieurs à ceux que consentent les résidents des agglomérations, pour un même niveau de ressources. En s'installant dans le périurbain, les ménages acceptent le coût de la mobilité qui en résulte, avec des effets hétérogènes sur le coefficient budgétaire des transports selon leur niveau de vie, dans la mesure où les contraintes exercées par l'environnement bâti y induisent une échelle plus resserrée des niveaux d'usage de la voiture qu'au sein des agglomérations, et donc une plus faible hétérogénéité de ces mêmes niveaux d'usage en fonction du revenu. Par conséquent, les facteurs comportementaux qui entrent en ligne de compte au moment où sont effectués ces choix ne sont pas les mêmes, ou n'exercent pas la même influence, que dans le cadre d'évolutions du contexte qui n'ont pas été choisies, comme par exemple les variations des prix des carburants ou du revenu du ménage au fil du temps. En effet, par la suite, les ménages évoluent dans le cadre de choix de vie stabilisés, qui seront désormais peu modifiés, une fois que les pratiques seront ancrées dans l'habitude (Meissonnier, 2015). Les évolutions subies tendront ainsi à susciter une force de rappel ou, si l'on préfère, une force conservatrice, destinée à préserver les lignes essentielles des arbitrages initiaux - notamment au niveau des coefficients budgétaires temporels et monétaires - lorsque les ménages étaient en position de choisir et se projetaient dans un nouveau mode de vie. Ainsi, les ménages des zones périurbaines se montreront malgré tout sensibles aux évolutions du coût de la mobilité, qui sont susceptibles de fragiliser l'équilibre des modes de vie choisis. On pourrait également dire que le consentement à payer des ménages pour accéder au mode de vie choisi est plus important que dans le cas d'évolutions subies.

Observons que cet argument s'applique également à la diffusion d'un bien d'équipement. En effet, les facteurs qui déterminent les choix de motorisation, par exemple, lors d'un changement de lieu de résidence marquant une nouvelle étape du projet de vie, sont susceptibles de différer des facteurs qui déterminent les évolutions des niveaux de motorisation des ménages au fil du temps. Le cas de la diffusion d'un bien durable ne préserve donc pas entièrement de cette problématique. Dans cet exemple, on voit qu'une partie au moins de l'hétérogénéité provient des déterminants des choix initiaux, qui ne coïncident pas avec ceux des évolutions, et ne peut donc être assimilée au résultat d'un processus évolutif conduisant à la formation d'un équilibre de long terme, à

condition de définir comme « conditions initiales » le moment où le ménage se projette dans un nouveau choix de vie, ce qui peut être assimilé au moment où il change de résidence⁸⁴. Cet argument fondamental conduit à remettre en cause de façon plus radicale l'assimilation souvent faite entre hétérogénéité et équilibre de long terme, la raison fondamentale de leur non-équivalence résidant en dernier ressort dans l'hétérogénéité des processus qui déterminent respectivement les choix initiaux des agents économiques et la manière dont ils s'adaptent aux évolutions du contexte extérieur. Observons que d'une certaine manière, cette irréductibilité des facteurs qui déterminent les choix avec ceux qui déterminent les adaptations peut être assimilée à une forme d'endogénéité. En effet, cela signifie que certains facteurs qui déterminent les choix initiaux des agents - en particulier, les déterminants psychologiques tels que la « projection dans un nouveau mode de vie » - sont inobservables, ce qui conduit peut-être à une estimation biaisée de l'influence des facteurs dans la dimension transversale, ou interagissent avec les facteurs observables pour en réduire l'échelle, leur importance relative étant corrélée au contexte des choix effectués.

Dans une étude sur l'adaptation des ménages aux augmentations de prix des carburants, *Calvet et Marical (2011)* interprètent des estimations transversales des élasticités de la consommation de carburant aux prix, obtenues à partir des enquêtes *Budget des Familles*, comme des mesures de sensibilité à court terme, ce qui est sans doute discutable. En effet, ainsi que nous venons de le montrer, les estimations transversales devraient en toute rigueur être interprétées comme des mesures d'hétérogénéité plutôt que comme des mesures de sensibilité. Nous avons montré que ces estimations ne coïncident pas en général, et on a donné un aperçu des raisons « techniques », ou économétriques, qui permettent de l'expliquer, ainsi que des processus économiques sous-jacents. De plus, lorsqu'elles sont assimilées à des mesures de sensibilité, les estimations transversales le sont généralement à des mesures de sensibilité à long terme.

L'examen des élasticités transversales de l'usage de la voiture par rapport au revenu, et de leur évolution par type de zone de résidence, permettent d'apporter des éléments complémentaires à ce débat. En interprétant les estimations transversales comme des mesures d'hétérogénéité et non plus comme des mesures de sensibilité à court terme, des estimations transversales plus faibles constatées dans les zones rurales s'interprètent alors comme le fait d'une distribution des comportements plus homogène, illustrant la dépendance automobile des résidents de ces espaces, et non plus comme une capacité d'adaptation plus faible à court terme. En effet, les résidents pauvres des zones urbaines tendent à privilégier, pour des raisons financières, l'utilisation des transports en commun, ce qui est à l'origine de comportements hétérogènes entre les plus riches, qui ont une utilisation intensive de la voiture, et les ménages pauvres. À l'inverse, les comportements sont plus resserrés dans les espaces d'urbanisation diffuse et les zones rurales, en l'absence d'alternatives à la voiture. Cela n'empêche pas que l'ensemble des ménages réagissent à l'augmentation des prix des carburants en réduisant leur niveau d'usage des véhicules, à la fois à court terme et à long terme. Dans l'analyse dynamique sur séries temporelles que nous avons présenté dans la section II.2.a.5, nous avons même montré que les sensibilités à court terme et à long terme sont en fait moins différenciées dans les zones peu denses que dans les zones denses, autrement dit que le rythme d'ajustement aux évolutions de prix des carburants y est en réalité plus rapide. Cependant, les répercussions sociales des réductions de mobilité sont sans doute plus importantes chez les résidents des espaces d'urbanisation diffuse. L'écart relevé par *Calvet et Marical (2011)* entre estimations transversales et longitudinales à long terme, plus important chez les résidents des communes périurbaines et rurales, traduit alors, plutôt qu'une

⁸⁴ Selon cette définition, les « conditions initiales » ne correspondent pas nécessairement à une même période pour l'ensemble des individus.

moindre sensibilité à court terme au sein de ces zones, la différence que nous venons de souligner entre déterminants des comportements initiaux et déterminants des évolutions au cours du temps.

L'échelle resserrée des comportements dans les zones périurbaines traduit donc aussi en partie une auto-sélection résidentielle des ménages qui sont partis résider dans les zones peu denses qui, en franchissant le pas, ont accepté d'emblée des taux d'effort plus élevés pour les dépenses de transport, affichant ainsi clairement leur préférence pour ce mode de vie en assumant les contraintes qui vont avec. En revanche, les évolutions ultérieures n'ont pas nécessairement été anticipées, et sont subies plutôt que choisies, ce qui ne permet donc pas d'évacuer entièrement la problématique de la vulnérabilité en considérant que « les ménages sont responsables de leurs choix ». Il s'agit donc de moments différents dans la vie des ménages, régis par des processus et des logiques hétérogènes, dans le premier cas par une logique de changement et d'ouverture des possibles ainsi que d'acceptation tacite des répercussions du projet de vie, dans le second par une logique conservatrice ou si l'on préfère, de préservation des équilibres. Selon cette logique, l'évolution de l'hétérogénéité des comportements au fil du temps peut prendre la forme de courbes parallèles, l'ensemble des ménages réagissant de manière analogue aux variations de contraintes monétaires.

Toutefois, les répercussions des choix de vie originels comme des adaptations ultérieures seront sans doute hétérogènes entre les ménages modestes et les milieux plus aisés, contraignant les premiers à des sacrifices plus ou moins anticipés sur les autres postes de dépenses. Une logique d'adaptation « homogène » à long terme, représentée par des élasticités de long terme équivalentes, pourrait donc correspondre à des répercussions très différentes sur la vie quotidienne. L'analyse sur séries temporelles qui a été présentée dans la section II.2.d a montré en particulier que les répercussions des fluctuations des prix des carburants sur les coefficients budgétaires étaient nettement plus importantes chez les habitants des espaces d'urbanisation diffuse et chez les plus modestes.

Une manière d'examiner les conséquences sociales de l'augmentation des prix des carburants consiste à étudier les évolutions dans l'hétérogénéité des niveaux d'usage de la voiture en fonction du revenu dans chacune des zones. On peut pour cela utiliser des indicateurs d'inégalités, comme l'indice de *Gini*, ou le rapport entre les quartiles extrêmes de la distribution des revenus, comme dans les articles de *Collet et al. (2013)* et de *Cornut et al. (2014)* pour l'Ile-de-France, en distinguant Paris, sa banlieue et son espace périurbain. Les indicateurs montrent en effet que l'échelle des niveaux d'équipement et d'usage de la voiture est d'autant plus resserrée que l'on s'éloigne du centre, y reflétant la dépendance croissante à l'automobile. Par ailleurs, *Cornut et al. (2014)* montrent une décroissance tendancielle des inégalités d'équipement et d'usage au fil du temps, compte tenu d'une saturation de la motorisation depuis les années 1980 dans le quartile supérieur, et d'une convergence des niveaux d'équipement et d'usage entre les quartiles à l'exception du quartile inférieur. Globalement en Ile-de-France, le rapport entre les quartiles extrêmes Q4/Q1 décroît ainsi de 1,9 au milieu des années 1970 à 1,4 en 2013 pour le nombre de voitures particulières par adulte et de 1,9 à 1,3 pour l'utilisation de la voiture, avec toutefois des évolutions hétérogènes entre zones, les niveaux d'inégalités ayant tendance à se maintenir dans le périurbain en raison d'une saturation plus tardive des niveaux d'équipement et d'usage, à partir de 2008 seulement. Cependant, les indicateurs d'inégalités tendent à se stabiliser depuis le début de la décennie 2000, l'accès à la voiture plafonnant dans le quartile inférieur et les plus modestes ayant davantage réduit leur usage de la voiture. Si la tendance de long terme est donc à une réduction des inégalités de motorisation et d'usage, l'effet spécifique de l'augmentation des prix

des carburants est de stabiliser les niveaux d'inégalités en stoppant au moins temporairement la diffusion de l'automobile et en entraînant une réduction plus importante de son usage chez les plus modestes.

II.3.c.6) Effets de génération, de cycle de vie et de période

Les éléments précédents montrent la nécessité de pouvoir disposer d'une approche de type longitudinal, dans laquelle il sera possible de distinguer entre estimations transversales et longitudinales des paramètres, ou entre mesures d'hétérogénéité et de sensibilité. Les estimations transversales, en particulier, sont fréquemment biaisées, en raison d'une possible corrélation avec des effets non-observés. De plus, les facteurs qui déterminent les différences entre individus ne coïncident pas nécessairement avec ceux qui déterminent les évolutions de leurs comportements au cours du temps. L'exemple des effets de génération - qui jouent un rôle essentiel pour expliquer aussi bien l'hétérogénéité des comportements individuels en matière d'auto-mobilité, que l'évolution du comportement moyen au cours du temps - d'âge et de période, permet très bien d'illustrer cette problématique.

Les effets de génération, par exemple, sont le principal facteur d'hétérogénéité connu des comportements d'auto-mobilité entre individus. En revanche, ils ne jouent aucun rôle dans l'évolution des comportements individuels au cours du temps, puisque, pour un individu donné, la génération est un attribut invariable. Au contraire, l'âge est un facteur de variation des comportements individuels dans le temps. De plus, pour une période donnée d'observation, des différences d'âge entre individus peuvent être observées. L'âge est donc à la fois un facteur de variabilité transversale et longitudinale. Enfin, la période ne détermine, bien entendu, que des variations longitudinales, homogènes pour l'ensemble des individus. En raison des effets de génération, une certaine hétérogénéité tendra à se maintenir entre individus au cours du temps, liée à la permanence de générations hétérogènes au sein de la population. En revanche, les comportements pourront évoluer, pour l'ensemble des générations, en fonction de facteurs exogènes, par exemple l'évolution des prix des carburants.

Cependant, dans un modèle où on ne décrirait les comportements qu'au travers des effets d'âge, sur la base de données transversales par exemple, on interpréterait à tort les écarts observés entre individus comme un effet de l'âge, alors qu'il s'agit en fait d'un effet de génération, ce qui constitue en fait un cas limite d'endogénéité, dans lequel la génération, constituant dans ce cas un facteur non-observé, est une fonction linéaire des variables explicatives. En effet, sur données transversales, la période étant fixée, la connaissance de l'âge est équivalente à celle de la génération.

On considère en effet un phénomène déterminé par des effets d'âge et de génération, spécifié de la manière suivante :

$$Y_{it} = \sum_{a=1}^{A-1} \gamma_a 1_a + \sum_{c=1}^C \gamma_c 1_c$$

Dans cette écriture, 1_a et 1_c représentent des indicatrices associées respectivement à l'âge et à la génération (ou à l'année de naissance), et γ_a , γ_c représentent les paramètres associés. Il est nécessaire de laisser l'un des paramètres indéterminés de manière à disposer tout à la fois d'un niveau de référence et à pouvoir identifier le modèle. Dans le cas contraire, le modèle est non-identifié en raison d'un problème de colinéarité entre les indicatrices. En effet :

$$\sum_{a=1}^A 1_a(i, t) + \sum_{c=1}^C 1_c(i, t) = 2$$

Cette relation traduit simplement le fait que chaque individu appartient à un groupe d'âge et à une génération. Supposons que dans une analyse des niveaux d'usage de la voiture, on souhaite déterminer l'effet de l'âge, et qu'on omette l'existence d'effets de génération. On utilise pour cela les données de la dernière Enquête Nationale Transports qui mettent en évidence que l'usage de la voiture décroît au-delà d'un certain âge (par exemple soixante-cinq ans), et on attribue donc à l'avancée en âge une baisse de la mobilité. On en déduit donc que le vieillissement de la population devrait entraîner un recul tendanciel du niveau moyen d'usage de la voiture dans les décennies à venir.

Toutefois, sur données transversales, il n'est pas possible de distinguer l'effet de l'âge de celui de la génération. En effet, la période t étant fixée, on a $t = c + a$, c étant la génération (ou l'année de naissance) et a l'âge. Si on avait basé le modèle sur des effets de génération plutôt que sur des effets d'âge, on en aurait déduit que l'usage de la voiture augmente au fil des générations. Formellement, supposons qu'on cherche à estimer le modèle :

$$Y_i = \sum_{a=1}^A \gamma_a 1_a(i)$$

On suppose que dans la réalité, le niveau d'usage de la voiture augmente avec la génération, mais ne dépend pas de l'âge. En effectuant le changement d'indice $c = t - a$, on en déduit qu'on a également :

$$Y_i = \sum_{c=t-A}^{t-1} \gamma_c 1_c(i)$$

On a donc :

$$\sum_{a=1}^A \gamma_a 1_a(i) = \sum_{c=t-A}^{t-1} \gamma_c 1_c(i)$$

Un individu ne pouvant appartenir, à l'instant considéré, qu'à un seul groupe d'âge et une seule génération, on a nécessairement :

$\gamma_a(a = a_r) = \gamma_c(c = t - a_r)$, c'est-à-dire qu'on a une bijection entre les coefficients d'âge et de génération. L'estimation du modèle basé sur l'âge conduit donc à attribuer à l'âge des effets qui, en réalité, sont causés par des niveaux d'usage de la voiture hétérogènes entre générations.

Dans cette estimation transversale, l'effet de l'âge est biaisé, car la génération n'est pas observée. De plus, il est impossible d'estimer simultanément les effets de l'âge et de la génération, qui sont des variables linéairement dépendantes. Ce problème a notamment été soulevé par *Madre (1989)* ou encore *Gallez (1994)*. Ces difficultés peuvent être partiellement résolues dans le cadre de l'analyse longitudinale à partir de données organisées en pseudo-panels ou en panels, du moins dès lors que la spécification du modèle est correcte, c'est-à-dire en l'absence de variables omises corrélées avec les variables explicatives du modèle. L'analyse longitudinale, par exemple basée sur l'application du modèle *Age-Cohorte-Période (ACP)* sur les Enquêtes Nationales Transport

successives, montre qu'en réalité, l'effet apparent d'un âge avancé sur la mobilité est imputable à des effets de génération, celles nées avant la guerre n'ayant eu qu'un accès restreint à la voiture. Dans la littérature, ce modèle a souvent été estimé sur la base de données structurée en pseudo-panel, issues par exemple de la succession d'Enquêtes Nationales Transport (par ex. *Roux, 2012*).

Par conséquent, la prise en compte des effets de génération est indispensable pour pouvoir modéliser correctement l'auto-mobilité. De plus, seule l'analyse longitudinale permet de dissocier les effets d'âge et de génération, les variables d'âge et de génération étant linéairement dépendantes dans la dimension transversale. Celle-ci permet, outre l'existence d'effets de génération, de montrer l'existence d'effets de cycle de vie sur l'usage de la voiture.

En dehors des effets d'âge et de génération, l'utilisation de la voiture s'explique également par des effets de période liés à l'évolution du contexte économique global et des prix du carburant. En raison de la forte augmentation des prix des carburants, la lecture directe des effets d'âge et de cohorte est susceptible d'être faussée par un effet de période qui tendrait à minimiser les effets de la phase ascendante du cycle de vie sur l'utilisation de la voiture, et à en accentuer les effets dans la phase descendante. Il est donc nécessaire de recourir à la modélisation pour pouvoir dissocier les effets structurels à long terme, notamment démographiques et générationnels, de l'influence des fluctuations du contexte économique.

Les effets d'âge, de génération et de période peuvent être pris en compte dans le cadre d'un modèle de type *Age-Cohorte-Période (ACP)*, dans lequel les effets de période peuvent être représentés indirectement par les facteurs économiques de revenus et de prix des carburants, plutôt que d'avoir recours directement à des indicatrices de période, qui soulèvent des problèmes de colinéarité supplémentaires. Cette approche présente de plus l'avantage de se situer directement au niveau causal, alors que les effets de période sont d'une interprétation peu lisible et demandent à leur tour à être expliqués. Les modèles de type ACP, basés sur une analyse longitudinale des comportements, parviennent à surmonter certaines limites des approches économétriques classiques sur données transversales et séries temporelles. Ils s'avèrent avoir de bonnes propriétés dynamiques et permettent d'obtenir des prévisions crédibles de la demande, anticipant fréquemment un ralentissement tendanciel de l'auto-mobilité (*Madre et al., 1996 ; Madre et al., 2013*).

Dans le chapitre III, on mettra donc en œuvre une approche emboîtée, individuelle et longitudinale, segmentée en fonction du genre. On analyse ainsi les principaux déterminants pour chaque niveau de l'auto-mobilité – détention du permis, motorisation des détenteurs du permis, usage des véhicules par les adultes motorisés – structurés autour d'une analyse de type âge-cohorte, complétée par d'autres facteurs explicatifs, notamment économiques de revenus et de prix des carburants, l'analyse étant de plus segmentée en fonction du genre. Cette méthodologie permet une intégration à la fois horizontale (sur les individus) et verticale (par niveaux) des comportements. L'analyse est basée sur les données du panel *ParcAuto*, qui sont décrites plus en détail dans la section III.1.

CHAPITRE III

**UNE APPROCHE EMBOITEE, INDIVIDUELLE ET
LONGITUDINALE DE L'AUTO-MOBILITE**

INTRODUCTION

La littérature économétrique permet de pointer un certain nombre de difficultés susceptibles d'affecter la prévision de la demande. En particulier, les estimations transversales des élasticités, basées par exemple sur les résultats d'Enquêtes Nationales Transports, qui sont fréquemment utilisées pour projeter la demande future, peuvent être affectées par des problèmes d'endogénéité, et donc être biaisées, à cause de l'omission de variables importantes. Plus généralement, nous avons montré dans la section II.3.c, que les estimations transversales et longitudinales n'étaient en général pas équivalentes, ce qui pouvait s'expliquer au point de vue économétrique par la complexité des effets de certains facteurs, qui peuvent être hétérogènes, non-stationnaires, asymétriques, progressifs, endogènes. Mais la différence entre hétérogénéité et sensibilité tient peut-être à une cause plus fondamentale encore, à savoir que les comportements de choix initiaux ne sont pas régis par les mêmes processus que ceux qui déterminent leurs évolutions au cours du temps. Pour l'ensemble de ces raisons, il est intéressant de disposer de données permettant d'effectuer des analyses longitudinales, dans lesquelles on suit l'évolution d'individus ou de cohortes au cours du temps. Cette analyse permet, en effet, de produire à la fois des estimations transversales et longitudinales, et de les comparer, puis le cas échéant d'expliquer les écarts observés entre ces estimations.

L'exemple des effets d'âge et de génération permet d'illustrer certaines des difficultés qui résultent de l'utilisation de données transversales, lorsqu'on cherche à utiliser ces données à des fins de prévision (*Madre, 1989 ; Gallez, 1994*). En matière de comportements automobiles, ce qui est à tort interprété comme des effets d'âge à partir de données transversales recouvre ainsi le plus souvent des effets de génération. Ces difficultés peuvent être surmontées dans le cadre de l'analyse longitudinale à partir de données organisées en pseudo-panels ou en panels, du moins dès lors que la spécification du modèle est correcte, c'est-à-dire en l'absence de variables omises corrélées avec les variables explicatives du modèle. La prise en compte simultanée des effets d'âge et de génération est en l'occurrence indispensable pour expliquer les comportements d'automobilité, de même que les effets de genre, étant donné la manière dont l'automobile s'est progressivement diffusée à l'ensemble de la population.

Une autre difficulté dans la modélisation de l'auto-mobilité provient du fait qu'il a été observé empiriquement, à partir d'études économétriques appliquées, que les effets marginaux et les élasticités n'étaient pas stables mais tendaient à évoluer au cours du temps. Par exemple, l'élasticité du trafic automobile ou du taux de motorisation des ménages par rapport au revenu décroît tendanciellement au cours du temps. Cette évolution peut s'expliquer par le processus de convergence de la demande vers la saturation (*Graham et Glaister, 2004 ; Goodwin et al., 2004*). Notamment, la diffusion de l'automobile converge progressivement vers des seuils de saturation. Toutefois, ce processus sous-jacent est rarement pris en compte de manière explicite. Or, on montre que le déclin tendanciel de l'élasticité au revenu, par exemple, peut s'expliquer naturellement dans le cadre d'un modèle séquentiel. En effet, le fait pour un individu d'être motorisé peut être représenté comme un processus de choix dichotomique, suivant une certaine loi de probabilité. En phase de convergence vers la saturation, la situation des individus au regard de l'équipement automobile est de plus en plus homogène. Dès lors que la loi de distribution de

l'hétérogénéité non-observée est connue, les élasticités peuvent faire l'objet d'un calcul formel après estimation du modèle, qui montrent bien le recul tendanciel de l'élasticité au revenu du taux de motorisation à mesure que ce dernier augmente. Si par ailleurs on admet que l'élasticité de l'usage des véhicules par les adultes motorisés demeure stationnaire - ce que tendront à confirmer les analyses de la section III.2 - alors le déclin tendanciel de l'élasticité du taux de motorisation se répercute sur l'élasticité de l'usage moyen de la voiture par adulte, qui décroît également à mesure que le taux de motorisation se rapproche de la saturation.

Ce raisonnement repose sur une définition de la motorisation individuelle comme étant l'accès autonome à un véhicule. On justifie cette approche en considérant que la croissance du trafic automobile s'effectue principalement – aux facteurs démographiques près - par l'augmentation des besoins de mobilité, d'une part, et par le basculement de la mobilité individuelle vers l'usage de l'automobile, d'autre part, mais que les véhicules additionnels ne génèrent pas par eux-mêmes de mobilité induite. Dès lors, on peut s'attendre à une stationnarité du kilométrage moyen parcouru par adulte, dès lors que l'ensemble des adultes auront accès à un véhicule personnel. Les femmes, en particulier, jouent le rôle central dans ce processus, car leurs besoins de mobilité ont augmenté, en lien avec leur participation croissante à l'activité professionnelle, et leurs déplacements sont de plus en plus souvent effectués en voiture, du fait de l'acquisition plus fréquente d'un second véhicule par le ménage.

Cette grille d'analyse permet une double lecture, horizontale et verticale, de l'auto-mobilité. Horizontalement, on compare les déterminants d'un niveau de l'auto-mobilité – permis, motorisation et usage – en fonction du genre. Verticalement, on compare les déterminants de chaque niveau de l'auto-mobilité, le genre étant fixé. Pour chaque genre et niveau, l'analyse est structurée autour d'un modèle de type *Age-Cohorte-Période (ACP)*. Néanmoins, pour expliciter les effets de période, on intègre plutôt un ensemble de variables évolutives au cours du temps, dont les facteurs économiques de revenus et de prix du carburant. Le facteur de prix du carburant n'est toutefois pris en compte que pour l'utilisation des véhicules, la littérature ayant montré qu'il exerçait une influence négligeable sur la motorisation des ménages. Cependant, nous reviendrons sur cette hypothèse en conclusion de ce chapitre. On utilise pour l'analyse les fichiers des vagues annuelles du panel *ParcAuto*. Pour chaque niveau de l'auto-mobilité, la modélisation s'appuie donc sur l'économétrie des données de panel. Pour les niveaux du permis et de la motorisation, on a recours à des modèles de choix discret adaptés aux données de panel. Pour le niveau d'utilisation des véhicules, on utilise des modèles linéaires adaptés aux panels. Le fait de disposer d'observations répétées à travers le temps pour un même individu permet d'introduire des effets individuels permanents (effets fixes), qui constituent une manière de représenter et de contrôler la présence d'hétérogénéité non-observée.

Dans la section suivante, on rappelle les avantages associés à l'utilisation des données de panel. On présente également les caractéristiques des données utilisées pour l'analyse, ainsi que la méthode de traitement des données. Les développements qui suivent portent sur l'étude des déterminants de l'auto-mobilité par niveau – permis, motorisation, usage – et selon le genre. Vient ensuite la section consacrée à la modélisation de l'auto-mobilité, qui est également décomposée par niveau et selon le genre. On présente d'abord les modèles utilisés, en justifiant les choix de

spécification retenus, puis on passe à la présentation des résultats de la modélisation. L'analyse permet de produire des estimations des élasticités de la probabilité d'avoir le permis de conduire, d'être motorisé, sachant qu'on a le permis de conduire, et de l'usage des véhicules chez les adultes motorisés, respectivement par rapport aux revenus et aux prix des carburants, ainsi que par rapport à la log-densité de population communale, de manière à analyser l'importance variable des effets de localisation par niveau de l'auto-mobilité et selon le genre. On montre aussi que les élasticités au revenu et à la log-densité diminuent au cours du temps, avec la diffusion de l'automobile. Les résultats sont ensuite comparés avec les estimations issues de la littérature. Pour finir, on évalue la validité de l'hypothèse de comportements séquentiels, avant de conclure.

SECTION III.1

ANALYSE DES DETERMINANTS DE L'AUTOMOBILITE

III.1) Analyse des déterminants de l'auto-mobilité d'après *ParcAuto*

III.1.a) Avantages et inconvénients de l'utilisation des données de panel

III.1.a.1) Spécificité des données de panel

Les panels sont constitués d'individus – au sens d'une unité statistique, il peut s'agir d'une région ou d'un pays, comme dans les études de *Baltagi et Griffin (1983)*, *Madre et Pirotte (1992)*, *Pirotte et Madre (2013)* - observés à plusieurs périodes. Ils peuvent être cylindrés, c'est-à-dire constitués des mêmes individus observés pendant la même durée et aux mêmes périodes, ou tournants – ce qui est le cas du panel *ParcAuto* – auquel cas la composition du panel évolue au fil du temps. Dans ce cas, les individus ne sont pas nécessairement observés pendant la même durée, ni aux mêmes périodes. Chaque année, certains individus entrent dans le panel, et d'autres en sortent. Les questionnaires d'enquête des panels reposant le plus souvent sur une base de volontariat, la durée de conservation des individus dans le panel est variable selon leur motivation. De plus, compte tenu du caractère astreignant du remplissage des formulaires, il est difficile de conserver les individus dans le panel au-delà d'une certaine durée, plus de trois ans par exemple. Dans le cas d'un panel existant depuis plusieurs décennies, il est pourtant nécessaire de maintenir la taille de l'échantillon de manière à disposer d'estimations suffisamment précises et statistiquement significatives et non biaisées, les abandons (attrition) n'étant pas uniformément répartis dans la population, ce qui requiert le renouvellement permanent des participants au panel.

La spécificité des panels réside donc dans la structure de l'information beaucoup plus riche utilisée pour l'analyse et/ou la modélisation. Ils permettent en particulier de réaliser des analyses longitudinales, ce que ne permettent pas les données de séries temporelles ou en coupes transversales, et de déceler l'existence d'effets individuels permanents exerçant une influence sur les comportements qui ne seraient pas pris en compte par les variables explicatives du phénomène que l'on cherche à expliquer. La question de la spécificité des données de panel est abordée plus en détail dans *Hsiao (1985)*, *Matyas et al. (1992)*, *Sevestre (2002)*, *Trognon (2003)*, *Hsiao (2003)*, *Baltagi (2008)*, *Pirotte (2012)*.

III.1.a.2) Un recours croissant aux données de panel

Rares à l'origine, les données de panel sont devenues de plus en plus souvent disponibles, facilitant leur utilisation par les économistes au cours des trente dernières années (*Hsiao, 2003 ; Baltagi, 2008 ; Pirotte, 2012*). Parmi les panels les plus connus et les plus exploités par les théoriciens et par les praticiens de l'économétrie, on peut citer notamment le *Panel Study of Income Dynamics (PSID)* de l'Université du Michigan, le *National Longitudinal Survey (NLS)* du *Bureau of Labor Statistics* aux Etats-Unis, et le *European Community Household Panel (ECHP)*, interrompu en 2004 et remplacé par le *Statistics on Income and Living Conditions (SILC)* d'Eurostat. Le panel *ParcAuto*, utilisé dans le cadre de cette étude, date de la fin des années 70.

III.1.a.3) Avantages et inconvénients des données de panel

Les données de panel sont très intéressantes pour les économistes : la combinaison de la dimension individuelle avec la dimension temporelle permet de résoudre plus facilement certains problèmes, et représente un saut qualitatif dans la compréhension et l'analyse des comportements micro-économiques. L'agrégation de comportements micro-économiques peut aussi être utilisée

pour modéliser certaines tendances macro-économiques. La présence d'observations répétées à différentes périodes permet donc de modéliser explicitement les spécificités des comportements individuels, au-delà des variables explicatives prises en compte dans le modèle, ce qui peut être réalisé au travers de l'introduction d'effets spécifiques individuels - dits « effets fixes » - et d'améliorer la précision des estimations des paramètres grâce à la décomposition de la variance. Ils permettent également de prendre en compte les effets de structure qui résultent de changements dans la population entre les périodes, ainsi que, le cas échéant, des effets de période qui peuvent être représentés par des indicatrices temporelles. L'interprétation de l'hétérogénéité individuelle est facilitée par le fait qu'on dispose simultanément de la vision transversale et longitudinale, qui permet par exemple de dissocier les effets d'âge des effets de génération. Les approches de type « *pseudo-panel* » cherchent d'ailleurs à reproduire cet avantage structurel en suivant dans le temps des groupes de population supposés « homogènes » ou pseudo-cohortes, sur la base d'enquêtes transversales répétées.

La structure des données implique toutefois des adaptations spécifiques des modèles usuels – qu'il s'agisse de modèles linéaires ou de choix discret – qui ont été conçus pour traiter des données « transversales », c'est-à-dire qui n'intègrent pas la dimension temporelle, ce à quoi s'est employée l'économétrie des données de panel au fil des dernières décennies.

Plusieurs théoriciens de l'économétrie ont souligné les avantages considérables des données de panel par rapport aux analyses basées sur séries temporelles ou sur données d'enquêtes transversales telles que les Enquêtes Nationales Transport. Parmi eux, on peut notamment citer *Hsiao (1985, 2003)*, *Baltagi (2008)*. On en rappelle ici quelques uns :

- Les données de panel permettent de mieux modéliser l'hétérogénéité non-observée, grâce à la présence d'observations répétées pour un même individu à travers le temps. Cela peut être réalisé par exemple à travers l'introduction d'effets spécifiques individuels ;
- Grâce à la modélisation explicite de la structure de variance de l'hétérogénéité non-observée, notamment *via* l'estimateur des MCQG (*Fuller et Battese, 1974*), elles permettent d'aboutir à des estimations plus précises des paramètres que celles basées sur séries temporelles ou données transversales (*Balestra et Nerlove, 1966*) dans lesquelles on ne pondère pas les différentes dimensions de la variance. Ce gain d'efficacité est aussi relevé dans des travaux empiriques, par ex. dans *Baltagi et Griffin (1983)*, dans le cadre d'une étude sur la consommation de carburant dans les pays de l'OCDE, poursuivie par *Johansson et Lee Schipper (1997)* ;
- Elles permettent de réduire les problèmes de biais d'agrégation et de régression fallacieuse causés par l'existence d'un *trend* temporel, en distinguant les effets de structure explicitant la formation du *trend* – dans notre analyse, il s'agit des effets de genre et de génération – des effets de période exogènes s'appliquant à l'ensemble de la population (ici, notamment, les fluctuations des prix des carburants) qui se traduisent dans les évolutions longitudinales des comportements individuels ;
- Elles permettent de distinguer entre mesures d'hétérogénéité – *via* l'estimateur *between* – et mesures de sensibilité – *via* l'estimateur *within*, ou encore entre estimations

« transversales » et « longitudinales », ce qui constitue un problème récurrent de la littérature économétrique (*Kitamura, 1990 ; Madre et Gardes, 2005*) ;

- Dans le cas des modèles dynamiques, elles permettent de séparer l'hétérogénéité non-observée de la dépendance d'état, et donc de distinguer entre dépendance d'état véritable et fallacieuse, un problème soulevé par *Heckman (1981)* dans le cadre de l'analyse sur séries temporelles. En effet, la dépendance d'état exprime la corrélation entre les observations pour un même individu au fil du temps. Pour différentes raisons, le comportement d'un agent économique à un instant donné, n'est pas indépendant de ses comportements passés, ce qui peut tenir à différents processus. Ainsi, certains choix peuvent être répétés par habitude, par exemple l'utilisation de tel ou tel moyen de transport particulier pour se rendre à son travail. L'expérience passée peut également inciter à renforcer certaines pratiques, comme dans le cas des phénomènes d'addiction à l'automobile (*Collet, 2008 ; Collet et al., 2010*), ou au contraire les dissuader. Ou encore, la variation d'un comportement entre deux périodes peut correspondre à une logique d'ajustement par rapport à un objectif à long terme – par exemple réduire les coûts d'usage de la voiture en cas d'augmentation des prix des carburants. Pour l'ensemble de ces raisons, liées soit à des effets d'apprentissage - habitude, expérience - soit au contraire à des anticipations dans le cadre d'une stratégie à long terme, les comportements actuels sont susceptibles de ne pas être indépendants des comportements passés ou futurs, ce qui constitue à proprement parler la dépendance d'état véritable, qui peut être prise en compte par le moyen de modèles dynamiques. Toutefois, l'auto-corrélation entre les réalisations successives de la variable dépendante ne découle pas toujours d'une véritable dépendance d'état. Elle peut aussi provenir de caractéristiques individuelles permanentes non-observées, par exemple dans le cas d'une personne qui prendrait systématiquement la voiture plutôt que les transports en commun par l'effet d'une préférence personnelle permanente. *Heckman (1981)* montre en particulier, sur l'exemple de la dynamique de participation des femmes au marché du travail, dans le prolongement de *Heckman et Willis (1977)*, que l'importance de la dépendance d'état est surestimée lorsqu'on ne prend pas en compte l'hétérogénéité non-observée. Or, les tentatives s'appuyant sur l'utilisation de séries temporelles ou d'enquêtes transversales échouent généralement à distinguer la dépendance d'état véritable de l'hétérogénéité (*Bates et Neyman, 1951 ; Heckman et Borjas, 1980*).
- Elles permettent en théorie de réduire les problèmes d'endogénéité, en particulier dans le cadre du modèle à effets fixes, qui ne requiert pas d'hypothèses sur la distribution des effets individuels, ou dans des approches paramétriques de type *Mundlak (1978)* ou *Chamberlain (1982)*, dans lesquelles la forme de la corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives est explicitée.

Toutefois, elles présentent aussi certains inconvénients (*Pirotte, 2012*) :

- Si on ne tient pas compte de l'hétérogénéité non-observée, ou en cas de mauvaise spécification de celle-ci, les estimations peuvent être biaisées et/ou inefficientes.

L'estimateur des *MCO*, par exemple, cesse d'être le meilleur estimateur linéaire sans biais à variance minimale (*BLUE*) ;

- Les observations aberrantes peuvent perturber la qualité des estimations (*Huber, 1981*) ;
- La présence de valeurs manquantes peut conduire à une réduction importante de l'échantillon d'analyse si on choisit de ne pas conserver les observations correspondantes, ce qui peut entraîner une perte de précision des estimations ainsi qu'un biais de sélection endogène. De ce fait, l'imputation des valeurs manquantes – par exemple, par la méthode du « *hot-deck* » - semble préférable, autant que possible, à la suppression des observations correspondantes.

III.1.a.4) L'économétrie des données de panel

En raison de leur structure particulière, le traitement des données de panel a nécessité la mise au point de méthodes spécifiques par les mathématiciens et les statisticiens, constituant le corpus théorique de l'économétrie des données de panel. Plusieurs manuels procèdent à un état des lieux de la recherche et dressent un panorama de l'ensemble des techniques applicables au traitement des données de panel, par exemple *Wooldridge (2001)*. L'économétrie des données de panel est également abordée dans le cadre de manuels d'économétrie plus généraux tels que *Verbeek (2012)*.

Les développements les plus importants et les plus anciens ont porté sur les modèles linéaires. Plusieurs théoriciens de l'économétrie (*Arellano, 2003 ; Arellano et Bonhomme, 2011*) soulignent que l'adaptation des modèles de choix discret (*Mc Fadden, 1973*) au cas des données de panel est moins avancée, et s'avère plus complexe, car elle pose des problèmes spécifiques, en particulier dans le cas du modèle à effets fixes, et plus généralement lorsqu'on souhaite relâcher les hypothèses de distribution des effets individuels. Toutefois, les modèles de choix discret sur données de panel ont également fait l'objet de progrès importants, en particulier dans le cas des modèles à effets aléatoires. C'est l'approche que l'on privilégiera dans la section III.2, qui s'appuie sur des modèles à erreurs composées, aussi bien dans la partie linéaire que dans la partie non-linéaire de l'analyse.

III.1.b) Le panel ParcAuto

III.1.b.1) Présentation générale des données de PARCAUTO

Les données de l'enquête annuelle sur le parc automobile à la disposition des ménages résidents en France métropolitaine et son usage, habituellement désignée sous le nom de *ParcAuto*, constituent le matériau statistique de l'analyse développée dans ce chapitre. *ParcAuto* fournit une description approfondie du parc automobile et de son usage, mais également des ménages et des utilisateurs des véhicules. Elle constitue un volant spécifique de l'enquête générale *Métascope* réalisée par la *TNS-SOFRES* auprès d'un échantillon de panélistes, comportant également d'autres volets, portant par exemple sur le tourisme et les comportements de vacances et de loisirs des Français (enquête *Suivi de la Demande Touristique*).

L'enquête est réalisée annuellement depuis 1976. Initialement destinée aux ménages dont le chef était français, elle est ouverte aux familles étrangères depuis 2002, qui semblent toutefois difficiles à mobiliser – notamment en raison de difficultés linguistiques - et restent peu représentées si on

se réfère aux recensements de la population. Conduite auprès d'un échantillon aléatoire de 10 000 ménages volontaires, elle est renouvelée par tiers environ d'une vague annuelle à la suivante, le renouvellement portant principalement sur les «mauvais» répondants. Environ deux tiers des questionnaires sont retournés, constituant un échantillon annuel de 6 à 7 000 ménages répondants. Ce très bon taux de réponse découle à la fois d'une base de volontariat et d'une politique de fidélisation des panélistes, s'appuyant sur l'attribution de « points-cadeaux » pour les « bons » répondants.

Chaque année, le panel est supposé demeurer représentatif – aux fluctuations d'échantillonnage près, qui sont corrigées par un jeu de pondérations adéquat. Co-financée par *l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)*, le *Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (CCFA)*, et la *Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (DSCR)*, l'enquête est ensuite exploitée par *l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)*.

En dépit de la politique de fidélisation des « bons » répondants, les taux de retour des questionnaires ne sont pas homogènes. En particulier, le formulaire d'enquête s'avère plus facile à remplir pour les petits ménages non-motorisés ou faiblement motorisés, et plus long pour les ménages de grande taille multi-motorisés, ce qui tend à induire une surreprésentation des petits ménages et des ménages faiblement motorisés parmi les répondants (*Collet, 2007*). Pour chaque vague d'enquête, la *SOFRES* doit donc redresser l'échantillon de manière à le rendre représentatif de la population des ménages résidant en France métropolitaine. La pondération est obtenue par la technique dite de « *calage sur marges* », sur la base des données de *l'Enquête Emploi*, et des variables suivantes : région de résidence, taille de l'agglomération de résidence, catégorie socioprofessionnelle et âge du chef de ménage, nombre de personnes du foyer.

III.1.b.2) Contenu des données

L'enquête annuelle est constituée de deux ou trois fichiers séparés, relatifs chacun à une unité statistique particulière :

- Le fichier « *véhicules* » décrit les caractéristiques de trois véhicules maximum au sein de chaque ménage. Les véhicules pris en compte sont les voitures particulières et les petits utilitaires (< 3,5 t), que l'on peut conduire avec un permis B. Pour chaque véhicule, sont renseignés notamment le kilométrage au compteur, le kilométrage annuel parcouru, la marque, le modèle, l'âge du véhicule, la gamme, l'état à l'acquisition, l'année d'acquisition, le prix payé à l'achat, le carburant utilisé, la consommation unitaire de carburant aux 100 km, etc. Il permet également d'identifier pour chaque véhicule l'utilisateur principal et les utilisateurs occasionnels. Les kilométrages annuels parcourus par les véhicules peuvent être affectés par des phénomènes d'arrondis et de non-réponses, compte tenu des réponses parfois imprécises des personnes enquêtées ;
- Le fichier « *ménages* » contient les caractéristiques des ménages répondants (tranche de revenu, commune de résidence...). Jusqu'en 2003, il incluait également les caractéristiques de ses membres jusqu'à six individus par ménage (âge, sexe, possession du permis de conduire, catégorie socioprofessionnelle, niveau de diplôme...) ;

- Depuis 2004 est apparu un fichier individuel, contenant les caractéristiques des membres du ménage. Du coup, ces caractéristiques ont cessé de figurer dans le fichier « *ménages* ».

Un numéro d'identifiant unique et invariable dans le temps pour chaque ménage permet d'apparier ces trois types de fichiers pour une année, ainsi que d'assurer le suivi longitudinal des ménages et des individus répondant à plusieurs vagues d'enquêtes successives. Environ deux tiers des ménages étant conservés d'une année à la suivante, les données présentent une structure de panel, sur laquelle peuvent être mises en œuvre les techniques spécifiques évoquées plus haut.

III.1.c) Méthodologie de traitement des données

Comme on vient de l'indiquer, le fichier *ParcAuto* est structuré selon plusieurs niveaux : ménage, individu (depuis 2004), véhicule. Dans cette thèse, nous avons avant tout cherché à analyser, puis à modéliser la possession du permis, l'équipement automobile et l'usage des véhicules à un niveau individuel, pour l'ensemble des adultes, c'est-à-dire ayant plus de dix-huit ans lors de l'enquête. Cette contrainte a conduit à ne retenir que les vagues annuelles postérieures à 1994. En effet, avant 1994, les fichiers « *ménages* » de *ParcAuto* fournissent uniquement la description des caractéristiques du « *chef de ménage* » et de la « *maîtresse de maison* » et ne permettent donc pas de décrire l'ensemble des individus adultes du ménage. Par ailleurs, les fichiers « *véhicules* » fournissent uniquement de l'information sur les caractéristiques de l'utilisateur principal de chaque véhicule. Les informations sur les adultes non-motorisés qui ne sont ni « *chef de ménage* », ni « *maîtresse de maison* », par exemple celles sur les enfants majeurs vivant au foyer parental, sont donc manquantes. Or, on souhaite pouvoir modéliser la probabilité de motorisation de l'ensemble des adultes, ce qui implique de connaître leurs caractéristiques, même s'ils ne sont pas motorisés. Enfin, la détention individuelle du permis de conduire n'est pas connue avant 1993.

De 1994 à 2003, on utilise les variables des fichiers « *ménages* » pour pourvoir décrire les caractéristiques des individus adultes du ménage jusqu'à six, dont l'âge, le sexe et la possession du permis de conduire. Le socle de la description de l'auto-mobilité entreprise dans ce chapitre étant en effet une analyse par âge et cohorte définie à partir de la génération et du sexe, il est donc impératif de disposer au moins des variables du sexe et de l'âge, à partir duquel on peut également reconstituer la génération en la croisant avec l'année de référence du fichier. A partir de 2004, on utilise les fichiers « *individus* » plutôt que les fichiers « *ménages* » pour extraire ces informations. Les modalités des variables peuvent changer d'une année à l'autre, ce qui contraint à des manipulations préalables de regroupement des modalités, de manière à constituer des ensembles homogènes pouvant être suivis au fil des ans.

L'ensemble des observations relatives aux individus adultes identifiés sont ensuite fusionnées dans un fichier unique, qui regroupe environ 213 000 observations, définies chacune à partir de l'individu et de la période. A partir de l'identifiant du ménage et de l'identifiant de l'individu au sein du ménage, il est alors possible de suivre les individus au cours du temps dans le cadre d'une analyse de type panel.

Toutefois, par recoupement entre la variable du nombre d'adultes déclarés du ménage et le nombre d'individus adultes identifiés à partir des variables d'âge et de sexe, on se rend compte que ces deux informations ne coïncident pas toujours, notamment parce que les ménages ne remplissent pas toujours avec autant d'application et de patience les informations de niveau individuel, en particulier dès lors que les ménages comportent trois adultes ou plus (*cf. encadré*). Or, pour calculer les taux de détenteurs du permis avec fiabilité, il est nécessaire de connaître

précisément le nombre d'adultes du ménage. On se limite donc aux ménages pour lesquels le nombre d'adultes déclarés coïncide avec le nombre d'adultes ayant correctement rempli les informations pertinentes qui les concernent dans le questionnaire.

Encadré 8 : La qualité de remplissage des informations individuelles en fonction du nombre d'adultes

La qualité de remplissage des informations individuelles diminue avec le nombre d'adultes du ménage. Ainsi, 89,5 % des ménages pour lesquels un seul adulte a correctement renseigné ses caractéristiques dans le questionnaire sont constitués d'un seul adulte, le reste d'entre eux ayant deux adultes ou plus, ce qui implique que l'un des adultes au moins n'a pas correctement rempli le questionnaire. De même, 90 % des ménages pour lesquels deux adultes ont correctement renseigné les informations qui les concernent sont effectivement constitués de deux adultes. Les taux de réponses commencent à chuter significativement à partir de trois adultes renseignés, auquel cas 69,7 % seulement sont effectivement constitués de trois adultes. De même pour les ménages ayant quatre adultes renseignés, dont 76 % seulement sont effectivement constitués de quatre adultes. Le remplissage des informations de niveau individuel tend donc à se dégrader assez significativement au-delà de trois adultes. Heureusement toutefois, la grande majorité des ménages n'est constituée que d'un ou deux adultes, avec respectivement 25,3 et 59,5 % des ménages.

Le permis de conduire

La variable de possession du permis de conduire figure dans les fichiers ménage (de 1994 à 2003) et individu (à partir de 2004) pour chacun des individus adultes dont les caractéristiques sont renseignées. Il est à noter que les taux de détenteurs du permis parmi les adultes ayant l'âge légal de conduire sont sous-estimés entre 2004 et 2006 : l'information relative à ces années semble donc peu fiable et doit être considérée avec précaution. Dans l'analyse des tendances sur le permis de conduire, on s'intéressera donc aux tendances de long terme plutôt qu'aux fluctuations annuelles, qui sont peu significatives. Par ailleurs, l'information sur le permis de conduire n'est pas toujours renseignée correctement, pouvant être dans certains cas, soit manquante, soit considérée comme inconnue. Cependant, dans le cadre de l'analyse et de la modélisation, on ne souhaite conserver que les individus dont l'état est connu, de sorte qu'on ne conservera pas dans l'analyse les autres observations. Ces cas de figure sont heureusement relativement rares, et la sélection d'échantillon la plus importante résulte du premier recoupement entre le nombre d'adultes déclarés et le nombre d'adultes ayant correctement rempli les informations pertinentes les concernant dans le questionnaire. Cette sélection conduit à ne retenir que 185 000 observations dans l'analyse de niveau individuel, sur les 213 000 initiales.

Imputation des valeurs manquantes

Les fichiers peuvent comporter des données manquantes pour une ou plusieurs variables que l'on souhaite exploiter, soit dans le cadre d'analyses descriptives, soit dans le cadre de la modélisation. Or, la modélisation au moins requiert que le sous-échantillon utilisé pour l'inférence statistique soit exempt de valeurs manquantes. Il est possible, dans ce cas, soit d'éliminer les observations qui présentent des valeurs manquantes, soit de les imputer par une technique ou une autre. Toutefois, la suppression d'observations entraîne une réduction de la taille de l'échantillon analysé, dont peuvent résulter plusieurs difficultés :

- En premier lieu, elle entraîne une perte d'information, dont résulte une baisse de précision dans les calculs et les estimations ;
- Il peut aussi en résulter une structure d'échantillon biaisée, dès lors que les observations supprimées présentent des caractéristiques différentes de celles des observations retenues. Ce biais est susceptible de fausser les analyses, dans la mesure où la population étudiée cesse d'être représentative ;
- Il est également susceptible de fausser l'inférence statistique s'il est endogène - ou non-ignorable - c'est-à-dire s'il existe des facteurs inobservés qui exercent une influence conjointe à la fois sur la probabilité de sélection et sur le phénomène modélisé.

Les biais de sélection non-endogènes peuvent être résolus en redressant le sous-échantillon utilisé de manière à reconstituer la structure de la population initiale. Néanmoins, pour davantage de clarté, il est préférable de ne pas multiplier les pondérations différentes au fil des analyses (*Madre et Armoogum, 1998*). La résolution d'un problème de sélection endogène est plus difficile et risque de complexifier inutilement les analyses. Il est donc préférable d'imputer autant que possible les valeurs manquantes, par une méthode ou une autre.

L'imputation des valeurs manquantes peut être réalisée de différentes manières :

- Par moyenne catégorielle : on impute à chaque observation dont la valeur est manquante la valeur moyenne de sa catégorie. Plus la segmentation est fine, plus on aura de chances de se rapprocher de la vraie valeur, mais on crée artificiellement des points d'accumulation dans le fichier ;
- Par modélisation : on estime d'abord un modèle de la variable pour laquelle on souhaite imputer les valeurs manquantes sur la base des observations renseignées, puis on utilise ce modèle pour simuler les valeurs manquantes ;
- Par la méthode du « *hot-deck* » : on identifie les principaux déterminants de la variable dont on cherche à imputer les valeurs manquantes, que l'on classe par ordre d'importance, puis on trie les observations selon l'ordre de ces déterminants, et on impute à chaque observation dont la valeur est manquante l'observation qui la précède – ou qui la suit – immédiatement. L'observation se voit ainsi imputer la valeur de l'observation qui présente les caractéristiques les plus proches au niveau des facteurs explicatifs de la variable à modéliser.

Si malgré tout on ne parvient pas à reconstituer l'ensemble des valeurs manquantes, on sera alors obligé de travailler sur un sous-échantillon incomplet, auquel cas il sera nécessaire de procéder à des redressements et/ou d'utiliser, le cas échéant, un modèle de probabilité de sélection - c'est-à-dire qu'on modélise comme un choix discret le fait d'appartenir à la sélection - si on a des bonnes raisons de penser que le biais de sélection est endogène, c'est-à-dire si la probabilité de réalisation de l'évènement modélisé n'est, toutes choses égales par ailleurs, pas indépendante de la sélection.

La variable de niveau de vie⁸⁵ comportant un pourcentage assez élevé de valeurs manquantes, ces derniers ont été imputés par la méthode du « *hot-deck* ». Comme variables explicatives, on a retenu, par ordre décroissant d'importance, le niveau de diplôme du chef de ménage, une variable indicatrice pour un lieu de résidence en Ile-de-France, une variable indicatrice pour un statut de

⁸⁵ Le niveau de vie a été défini comme le revenu par unité de consommation du ménage, avec l'échelle de l'OCDE (cf. encadré 10).

cadre ou de profession intellectuelle supérieure, la génération du chef de ménage, ainsi qu'une variable indicatrice pour le statut de chômeur.

La méthode du « *hot-deck* » a également été utilisée pour imputer le niveau d'études lorsque ce dernier était manquant. Les principaux déterminants du niveau d'études identifiés et pris en compte sont notamment la situation à l'égard de l'activité, la catégorie socioprofessionnelle et le sexe. Ainsi, les retraités ont très souvent de faibles niveaux d'études, ce qui peut être relié à un effet de génération, la massification de l'enseignement en lien avec les mutations de l'économie, d'une économie essentiellement paysanne au départ vers une économie industrielle puis tertiaire, ayant entraîné au fil des générations l'élévation des niveaux d'étude. Parmi les actifs, les niveaux d'étude sont en moyenne plus faibles au sein du groupe des agriculteurs, artisans, commerçants et chefs d'entreprise, 60 % d'entre eux ayant un niveau d'études inférieur au bac. De même, les personnels des services aux particuliers et les ouvriers ont à plus de 70 % des niveaux d'études inférieurs au bac. A l'inverse, 86 % des cadres et professions intellectuelles supérieures ont un niveau d'études supérieur au bac, et 41 % d'entre eux ont suivi une formation de troisième cycle universitaire ou sont diplômés d'une grande école. On observe également une légère corrélation entre le niveau d'études et le sexe. Les femmes sont ainsi moins nombreuses à avoir un niveau d'études inférieur au bac, mais elles sont également moins souvent titulaires d'une formation de troisième cycle. Cette distribution correspond également à la nature des emplois occupés par les femmes, au sein desquels les emplois d'employés et de professions intermédiaires sont fortement surreprésentés.

De même, l'information sur les kilométrages des véhicules était parfois manquante. Or, l'utilisation des véhicules par les individus adultes est l'une des principales variables que l'on souhaite analyser et modéliser dans le cadre de ce chapitre. Les valeurs manquantes pour les kilométrages parcourus par les véhicules ont donc également été imputées, plutôt que de supprimer les observations correspondantes.

Identification de l'utilisateur principal d'un véhicule et calcul de l'usage total des véhicules par un adulte

Pour pouvoir calculer l'utilisation totale des véhicules par chaque adulte motorisé du ménage – avec la définition retenue, à savoir qu'un individu adulte est considéré comme « motorisé » s'il est l'utilisateur principal d'au moins l'un des véhicules du ménage – il est nécessaire de pouvoir rapporter l'utilisation de chaque véhicule à son utilisateur principal. Pour cela, il faut donc être en mesure d'identifier l'utilisateur principal de chaque véhicule. Dans *ParcAuto*, cette information figure dans le fichier des véhicules. En cas de doutes sur l'identification de l'utilisateur principal, il est possible de procéder à des contrôles supplémentaires à partir de la variable de rang de l'utilisateur principal, en vérifiant que le sexe et l'âge de l'utilisateur principal déclaré coïncide bien avec le sexe et l'âge de l'individu désigné par son rang comme étant l'utilisateur principal. L'utilisateur principal étant défini pour chaque véhicule, il peut y avoir plusieurs utilisateurs principaux par ménage, certains d'entre eux pouvant être l'utilisateur principal de plusieurs véhicules, et d'autres n'être l'utilisateur principal d'aucun véhicule. Toutefois, dans la modélisation, on ne souhaite caractériser les individus que de deux manières différentes : soit ils sont « motorisés », au sens où ils ont accès à un véhicule qui leur permet de se déplacer de manière autonome, soit ils ne le sont pas, au sens où ils ne bénéficient pas d'un tel accès. Le calcul de l'usage total des véhicules généré par un individu adulte est effectué en faisant la somme des kilométrages parcourus par chaque véhicule dont il est l'utilisateur principal⁸⁶.

⁸⁶ Contrairement à l'approche présentée par Collet et Madre (2015) dans le projet de recherche ANDEMO (Analyse des

Variables d'activité professionnelle et de niveau d'études

Certaines variables telles que l'existence d'une activité professionnelle et le niveau d'études d'un individu ne sont pas disponibles directement au niveau des caractéristiques individuelles. Au lieu de cela, elles sont décrites pour le « *chef de foyer* », la « *maîtresse de maison* » et l'individu « *Kish* ». Cependant, il s'avère le plus souvent possible d'identifier l'individu du ménage auquel ces caractéristiques se rapportent dans la liste des individus notés de un à six, d'après l'âge et le sexe du chef de foyer, de la maîtresse de maison ou de l'individu Kish. On arrive ainsi à reconstituer l'activité professionnelle et le niveau d'études pour la plupart des adultes, ce qui s'explique en particulier par le fait que ceux pour lesquels ces caractéristiques ont un sens ont généralement terminé leurs études et commencé une activité professionnelle, et sont donc le plus souvent identifiés soit comme « *chef de foyer* », soit comme « *maîtresse de maison* ». Les informations sur l'individu « *Kish* » permettent de compléter la reconstitution de ces variables.

Parmi les personnes ayant déclaré leur niveau d'études, la proportion d'individus déclarant n'avoir aucun diplôme est très faible (0,3 %). Ce taux paraît largement sous-estimé, dans la mesure où la proportion de personnes sortant de l'école sans diplôme était encore assez importante dans les générations les plus anciennes. Les personnes sans diplôme sont donc vraisemblablement surreprésentées parmi celles qui n'ont pas déclaré leur niveau d'études, ou déclarent avoir un niveau d'études inférieur au bac, sans plus de précisions. La distinction entre ces deux modalités est donc sans doute peu fiable. Aussi, dans l'analyse, a-t-on regroupé en une seule modalité les personnes sans diplôme et les personnes dont le niveau d'études est inférieur au bac.

Variables de revenus et de prix des carburants

Dans *ParcAuto*, le revenu n'est pas connu avec précision, mais seulement la tranche à laquelle il appartient. De surcroît, les limites des tranches ont évolué au fil des ans. Pour être en mesure d'estimer les effets du revenu sur les comportements, il est toutefois nécessaire de disposer de valeurs numériques, qui peuvent notamment être utilisées dans des modèles. À défaut de pouvoir connaître le revenu du ménage avec précision, on tire donc aléatoirement celui-ci dans une loi uniforme à l'intérieur de chaque tranche de revenu. Ce tirage aléatoire introduit toutefois une certaine imprécision dans l'estimation des revenus, et par conséquent dans la mesure de leurs effets. Lorsqu'on s'intéresse aux différences permanentes entre individus, ces approximations ne paraissent pas très gênantes, dans la mesure où les écarts entre tranches demeurent significatifs et contribuent à la variance interindividuelle, qui demeure donc également significative. Par contre, les variations des revenus au cours du temps sont peu significatives, et présentent essentiellement un caractère aléatoire, de sorte que leurs effets sont également non-significatifs. Pour cette raison, seules les estimations transversales des effets de revenu pourront être considérées comme significatives, et devront être interprétées comme une mesure d'hétérogénéité, plutôt que de sensibilité.

Pour le calcul des prix des carburants en € courants, on utilise des indices des prix moyens depuis le milieu des années 1970 pour chaque type de carburant (sans plomb, gazole, super, GPL). Pour les années antérieures à l'introduction de l'euro, on a utilisé le taux de conversion entre le franc et l'euro au moment de l'introduction de l'euro, soit environ 1 € = 6,55 F. On a également eu recours à des séries de prix moyens des carburants, dans lesquelles les prix de chaque type de carburant sont pondérés par la structure de la flotte, des consommations de carburants ou encore par l'utilisation de chaque type de véhicules.

Déterminants de la Mobilité), on a donc conservé les adultes qui sont utilisateurs principaux de plusieurs véhicules.

Encadré 9 : Méthode des résidus simulés

Il existe différentes méthodes pour imputer les valeurs manquantes d'une variable dépendante à partir des résultats d'une régression linéaire de type :

$Y = X\beta + \sigma U$, où $U \sim N(0,1)$ et σ est l'écart-type des résidus. La méthode la plus classique, qualifiée d'imputation par la moyenne conditionnelle, consiste simplement à modéliser l'espérance de Y par $E(Y|X) = X\hat{\beta}$. Mais on peut également recourir à la méthode d'imputation par les résidus simulés, dans laquelle on obtient Y par $\hat{Y} = X\hat{\beta} + \hat{\sigma}u$, où u est un tirage dans $N(0,1)$. Cette méthode, contrairement à la précédente, tient compte de la variance des perturbations, et permet d'obtenir une plus grande dispersion des simulations de Y , plus conforme à la réalité. Toutefois, elle implique également de connaître les réalisations de la variable dépendante pour au moins une partie de l'échantillon, qui servent à caler le modèle. Ce n'est d'évidence pas le cas pour les revenus dans *ParcAuto*, puisque ces derniers ne sont connus que par tranche. On pourrait néanmoins envisager de procéder en deux étapes. Dans une première étape, on simulerait les revenus dans une loi uniforme pour chaque tranche. Puis, on utiliserait le jeu de données ainsi simulées pour caler un modèle de régression linéaire du revenu. Enfin, on utiliserait le modèle de régression estimé pour effectuer une seconde simulation du revenu, sans doute plus proche de la réalité puisqu'elle constituerait une fonction continue de ses déterminants.

Comparabilité des grandeurs monétaires : échelle d'équivalence des revenus et érosion monétaire

Par ailleurs, pour un même niveau de revenu, des ménages de taille et de composition différente n'ont pas le même niveau de vie. Pour traduire l'idée d'équivalence du niveau de vie, on utilise le concept de revenu par unité de consommation. L'idée sous-jacente au revenu par unité de consommation est qu'à revenu constant, un ménage de grande taille tend à avoir des besoins supérieurs à un ménage de petite taille, et par conséquent des dépenses supérieures pour l'ensemble des postes budgétaires. Pour faire face à ses besoins et disposer d'un niveau de vie équivalent à celui d'un ménage de plus petite taille, il devra donc disposer d'un revenu plus élevé. Toutefois, des travaux empiriques ont permis d'établir que tous les membres du ménage ne pesaient pas de la même manière sur les dépenses, notamment en raison de différences d'âge et de position au sein du ménage – les enfants ne génèrent pas autant de dépenses que les adultes – mais également d'économies d'échelle, certaines dépenses, telles que le loyer, étant indépendantes ou quasiment indépendantes de la taille du ménage. Pour pouvoir comparer les niveaux de vie de ménages de taille et de composition différente, il est donc nécessaire de disposer d'une échelle d'équivalence, qui permet de corriger les revenus des effets de taille et de composition du ménage. Plusieurs échelles d'équivalence ont été mises au point, les plus connues étant les échelles d'Oxford et de l'OCDE (cf. encadré 10). Dans cette étude, on a recours à l'échelle de l'OCDE.

Pour certaines analyses, les distributions annuelles des niveaux de vie ont été découpées en quartiles ou en déciles. Ce mode de regroupement permet notamment d'effectuer des analyses en fonction du revenu relatif : le découpage en quartiles ou en déciles permet d'illustrer la manière dont l'auto-mobilité se diffuse en fonction de la position sociale. Même si les niveaux de vie évoluent au sein de chaque quartile ou décile d'une année à l'autre, la position sociale relative – qui sert notamment à définir les seuils de pauvreté relative – se conserve en effet au fil du temps.

Encadré 10 : les échelles d'Oxford et de l'OCDE

L'échelle d'Oxford est l'échelle d'équivalence historique utilisée par les statisticiens. Elle accorde un poids d'une unité de consommation au chef de ménage, de 0,7 unité de consommation (UC) à chaque adulte supplémentaire, et de 0,5 UC aux enfants du ménage. Toutefois, elle est de plus en plus critiquée, et les statisticiens lui préfèrent désormais d'autres échelles, accordant un poids moins important aux individus en dehors du chef de ménage, telles que l'échelle de l'OCDE (Hourriez et Olier, 1997). Cette approche se justifie notamment par le fait que l'échelle d'Oxford tend à sous-estimer les économies d'échelle, qui sont mieux prises en compte au travers de l'échelle de l'OCDE, notamment pour le logement (dont le poids va croissant), l'énergie ou encore la fiscalité. Celle-ci accorde un poids d'une UC au chef de ménage, de 0,5 UC aux adultes de plus de 14 ans, et de 0,3 UC aux enfants de moins de 14 ans.

Enfin, pour être en mesure de comparer des grandeurs monétaires – qu'il s'agisse des revenus ou des prix du carburant – à des périodes différentes, il est nécessaire de les corriger de l'inflation, ce qui amène à les exprimer en € constants et non plus en € courants. En effet, en raison de l'érosion monétaire, 1 € de 1994 n'a pas la même valeur que 1 € de 2010. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'un indice de l'inflation. Dans l'ensemble des analyses, on utilise l'indice général des prix à la consommation de l'INSEE (IPC). On utilisera donc comme grandeurs monétaires les niveaux de vie réels ou les revenus par unité de consommation corrigés de l'inflation, ainsi que les prix réels des carburants, ou prix des carburants corrigés de l'inflation.

III.1.d) Analyse des déterminants de l'auto-mobilité

Dans cette section, on étudie l'ensemble des déterminants de l'auto-mobilité, en commençant par le permis de conduire, puis en traitant les facteurs de la motorisation des détenteurs du permis de conduire, enfin en abordant l'usage des véhicules chez les adultes utilisateurs principaux d'un véhicule. Pour chaque niveau, l'analyse est structurée autour des facteurs d'âge, de sexe et de génération, complétés par d'autres variables telles que les facteurs économiques et les effets de localisation, notamment.

III.1.d.1) Les déterminants du permis de conduire

Effets de génération, de sexe et d'âge

Au regard de la littérature (cf. section II.2.b.1), les facteurs de génération et de sexe sont les déterminants les plus importants de l'accès au permis de conduire. On commence donc tout naturellement par étudier l'influence des facteurs structurels ou permanents, qui constituent le socle de notre analyse de l'auto-mobilité, autour desquels viennent se greffer les influences temporaires. Sur le plan de la modélisation, ces facteurs correspondent au cadre d'une analyse par « cohortes », fréquemment utilisée en démographie mais moins fréquemment dans l'étude des phénomènes économiques. Une analyse par cohortes présente des avantages importants pour la prévision, dans la mesure où elle peut facilement être combinée avec un modèle démographique de projection de la population, qui permet généralement d'obtenir des prévisions assez robustes aux horizons habituels des scénarios de prospective de la demande de transport - vingt à trente ans, voire davantage - grâce à l'inertie des phénomènes démographiques. Les cohortes sont constituées en fonction de la génération et du sexe. Les générations sont définies sur une

périodicité d'année de naissance de cinq ans, ce qui aboutit à en retenir dix-sept, de la génération née avant 1895 à celle née après 1990, classées par numéro croissant.

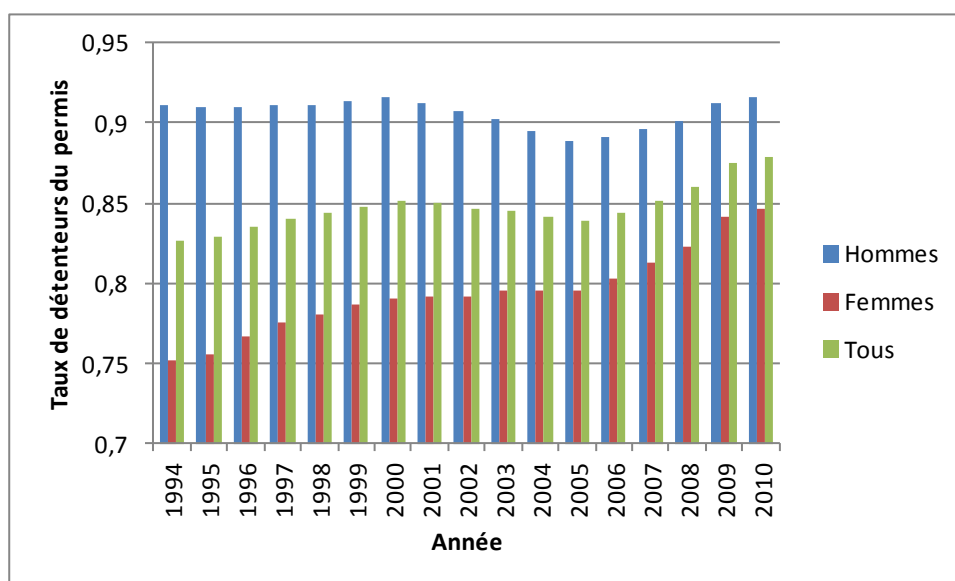
	Hommes	Femmes	Tous
G0 (< 1915)	0,62	0,80	0,72
G1 (1915-20)	0,78	0,92	0,85
G2 (1920-25)	3,40	4,08	3,76
G3 (1925-30)	5,18	5,96	5,59
G4 (1930-35)	6,96	7,83	7,42
G5 (1935-40)	6,88	7,12	7,00
G6 (1940-45)	6,54	6,32	6,42
G7 (1945-50)	8,05	7,74	7,89
G8 (1950-55)	7,81	7,13	7,45
G9 (1955-60)	9,10	7,04	8,02
G10 (1960-65)	9,98	8,72	9,32
G11 (1965-70)	10,85	10,55	10,69
G12 (1970-75)	9,99	10,36	10,18
G13 (1975-80)	6,82	7,44	7,14
G14 (1980-85)	4,13	4,89	4,53
G15 (1985-90)	2,49	2,64	2,57
G16 (> 1990)	0,43	0,46	0,45

Tableau 3 : Répartition de la population par génération et sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES

Le tableau ci-dessus indique la distribution des générations au sein de l'échantillon, montrant qu'elles sont d'importance inégale. Ainsi, les générations les mieux représentées dans l'échantillon sont les cohortes G₁₁ (1965-70) et G₁₂ (1970-75), nées entre 1965 et 1975. Les générations nées avant 1930 et celles nées après 1980 sont relativement marginales en nombre.

Sur l'ensemble de la période d'observation, environ 85,1 % des adultes détiennent le permis de conduire. Le taux de détenteurs du permis de conduire est toutefois nettement plus élevé chez les hommes, pour lesquels il s'élève à 90,8 %, que chez les femmes, pour lesquelles il atteint 79,9 %.



Graphique 25 : Taux annuel de détenteurs du permis, globalement et par sexe (%) – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

D'autre part, il évolue de façon très différente selon le sexe : ainsi, chez les hommes, il demeure stationnaire, oscillant entre 91 et 92 %, à l'exception des années 2003 à 2007 pour lesquelles il apparaît un peu en retrait, ce qui semble pouvoir être rapporté à des fluctuations d'échantillonnage ainsi qu'à des erreurs de collecte de l'information. Chez les femmes, en revanche, il est en constante progression, passant de 75,2 à 84,7 % entre 1994 et 2010. La progression d'ensemble du taux de titulaires du permis au cours de la période d'observation s'explique donc surtout par son évolution chez les femmes. Si on considère le taux de titulaires du permis chez les hommes, qui est désormais stabilisé, comme l'illustration d'un seuil de saturation dans la diffusion du permis de conduire, alors il subsisterait encore une marge de progression de l'ordre de trois à quatre points dans sa diffusion chez les femmes, pour atteindre ce seuil.

	Hommes	Femmes	Tous
G0 (< 1915)	72,6%	32,4%	49,0%
G1 (1915-20)	81,6%	42,1%	59,2%
G2 (1920-25)	86,9%	54,4%	68,3%
G3 (1925-30)	91,4%	59,8%	73,6%
G4 (1930-35)	93,0%	69,0%	79,7%
G5 (1935-40)	94,9%	76,5%	85,1%
G6 (1940-45)	95,6%	82,8%	89,0%
G7 (1945-50)	94,8%	83,2%	88,8%
G8 (1950-55)	92,7%	85,8%	89,2%
G9 (1955-60)	92,8%	90,3%	91,6%
G10 (1960-65)	94,5%	91,7%	93,1%
G11 (1965-70)	95,0%	90,6%	92,7%
G12 (1970-75)	92,7%	88,9%	90,7%
G13 (1975-80)	86,2%	84,5%	85,3%
G14 (1980-85)	73,7%	75,0%	74,4%
G15 (1985-90)	42,0%	45,6%	43,9%
G16 (> 1990)	44,9%	39,4%	41,9%

Tableau 4 : Taux de permis par génération et sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Or, l'écart observé entre hommes et femmes dans la croissance du taux de titulaires du permis de conduire s'explique par l'existence d'effets de génération. Globalement, hommes et femmes confondus, il a progressé de 49 % dans la cohorte G_0 (< 1915) à 93,1 % dans la cohorte G_{10} (1960-65), avant de reculer, pour atteindre 41,9 % dans la cohorte G_{16} (> 1990). Ce dernier recul doit toutefois être considéré avec prudence. En effet, une lecture trop rapide des écarts dans le taux de titulaires du permis de conduire entre les générations conduirait à conclure à la baisse continue de la diffusion du permis de conduire dans les générations nées après 1965, jusqu'à régresser dans les générations nées après 1990 à un niveau quasiment équivalent à celui qui est constaté dans les générations nées avant 1915. Toutefois, cette lecture est fallacieuse, car elle ne tient pas compte de l'existence d'effets d'âge. En effet, l'acquisition du permis de conduire n'est pas immédiate à la majorité légale pour l'ensemble des adultes, mais parfois différée en fonction des circonstances de la vie, notamment dans le cas de prolongation d'études et en l'absence d'activité professionnelle, ou encore pour les personnes résidant au sein des zones urbaines denses. De ce fait, la proportion de détenteurs du permis de conduire augmente progressivement avec l'âge, et n'atteint pas tout de suite son niveau définitif au sein d'une génération donnée. Le recul apparent du taux de détenteurs du permis de conduire dans les générations nées après 1975 s'explique donc au moins partiellement par le fait qu'elles sont encore observées pendant leur jeune âge, de sorte que le taux de détenteurs du permis de conduire n'y est pas encore stabilisé. La littérature sur le « *peak car* » nous a néanmoins montré l'existence de signes de recul de l'auto-mobilité dans les nouvelles

générations, en particulier chez les hommes⁸⁷, de sorte que cette hypothèse ne doit pas non plus être exclue, et devra être étudiée à la lumière d'une analyse de type âge-cohorte, permettant de dissocier les effets d'âge des effets de génération.

Mis à part ce recul apparent qui doit donc être pour l'instant analysé avec prudence, les résultats de l'analyse descriptive confirment donc que la diffusion du permis de conduire, d'abord restreinte dans les générations nées avant-guerre, a continuellement progressé au fil des générations, en tendant à se banaliser toujours davantage. Les générations se succédant les unes aux autres, il en résulte une progression de la proportion globale de titulaires du permis au cours du temps. C'est là le principal facteur de diffusion du permis de conduire, dans la mesure où la proportion de détenteurs du permis au sein d'une génération donnée varie peu au cours du temps, tendant à demeurer stable au-delà d'un certain âge, ainsi qu'on le verra par la suite.

Toutefois, les effets de génération sont différenciés selon le genre. La proportion d'hommes détenteurs du permis de conduire a ainsi progressé jusqu'à la génération G₆ (1940-45), puis s'est stabilisée dans les générations nées après 1945, aux alentours de 95 % d'une génération. De ce fait, la succession des générations n'entraîne plus de progression du taux de détenteurs du permis de conduire. A l'inverse, le taux de détentrices du permis de conduire a continué de progresser au fil des générations jusqu'à celles qui sont nées entre 1960 et 1965, où il a quasiment rattrapé celui observé chez les hommes. La diffusion continue du permis dans les générations de femmes nées après-guerre a ainsi contribué à la croissance de l'auto-mobilité, en prenant le relais de sa diffusion chez les hommes, qui s'était déjà produite dans les générations nées avant-guerre. Les écarts selon le genre sont donc très importants au sein des générations nées avant 1915 – 40 points environ – mais commencent à diminuer dès la cohorte G₂ (1920-1925), pour laquelle l'écart n'est déjà plus que de 32,5 points. Ils diminuent ensuite de façon régulière jusqu'à s'annuler dans la cohorte G₁₃ (1975-80). Le sens de l'inégalité tend même à s'inverser à partir de la cohorte G₁₄ (1980-85), avec un léger avantage pour les femmes. Néanmoins, ce dernier résultat demeure encore fragile dans la mesure où ces générations n'ont pas atteint leur taux de permis définitif, et pourraient illustrer une acquisition du permis plus progressive chez les hommes au sein de ces générations.

Cependant, avec des taux de titulaires du permis à présent stabilisés dans les générations nées à partir des années 1970, la diffusion du permis de conduire semble être entrée dans une phase d'approche de la saturation, voire de déclin si le recul de l'accès au permis de conduire dans les générations nées après 1980 devait être confirmé par l'analyse âge-cohorte. L'achèvement du processus de diffusion de la conduite devrait donc contribuer à un ralentissement global dans la croissance de l'auto-mobilité.

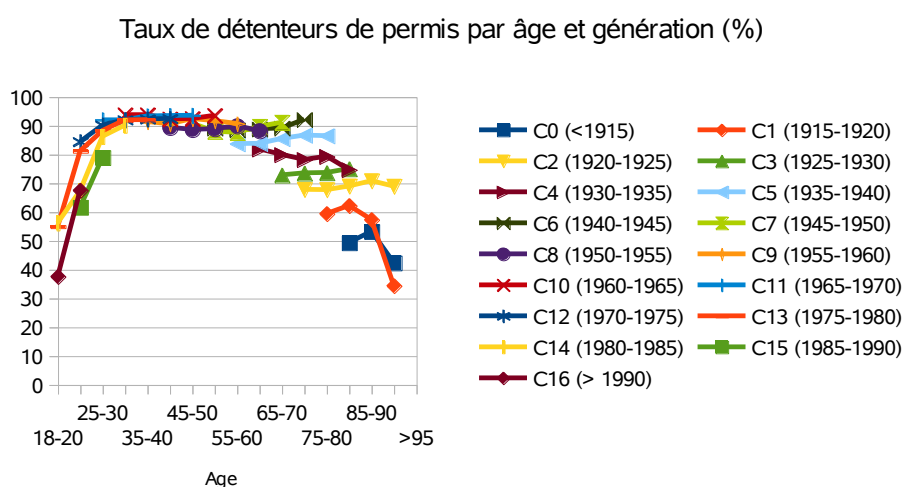
On essaye ensuite de prendre en compte l'effet de l'âge sur le taux de détenteurs du permis de conduire, au travers d'une analyse âge-cohorte, qui permet de dissocier l'effet de l'âge de celui de la génération. Si ce dernier peut être *a priori* appréhendé comme une fonction croissante de l'âge au sein de chaque cohorte, plusieurs questions se posent néanmoins, en particulier :

- A partir de quel âge le taux de titulaires du permis tend-il à saturer au sein d'une génération donnée ?
- L'âge auquel le taux de titulaires du permis au sein d'une génération donnée est stabilisé varie-t-il d'une génération à l'autre ?

⁸⁷ Notamment en Allemagne et au Royaume-Uni (Kuhnimof et al., 2012).

Les analyses s'appuient, comme pour la génération, sur une segmentation de la variable d'âge en tranches de cinq ans (20-25, 25-30, etc.), sauf pour les tranches extrêmes. Les personnes âgées de plus de 95 ans sont ainsi regroupées en une seule modalité, de même que les personnes de moins de vingt ans qui recouvrent une tranche d'âge de deux ans seulement, compte tenu de l'âge légal de la conduite à dix-huit ans.

La progression apparente du taux de permis est très rapide en début de cycle de vie. Pour les générations observées pendant leur jeunesse, plus d'un tiers de la population adulte est déjà titulaire du permis de conduire à sa majorité, ce taux progressant ensuite très rapidement pour atteindre 73 % dans le groupe des jeunes âgés de vingt à vingt-cinq ans, et déjà presque 90 % pour les jeunes âgés de vingt-cinq à trente ans, pour lesquels il est proche de son niveau définitif. Chez les hommes, le taux de détenteurs du permis augmente de 36,6 % dans le groupe des jeunes âgés de dix-huit à vingt ans, pour atteindre un plafond à 93,7 % chez les jeunes âgés de trente à trente-cinq ans.



Graphique 26 : Taux de détenteurs du permis de conduire par âge et génération

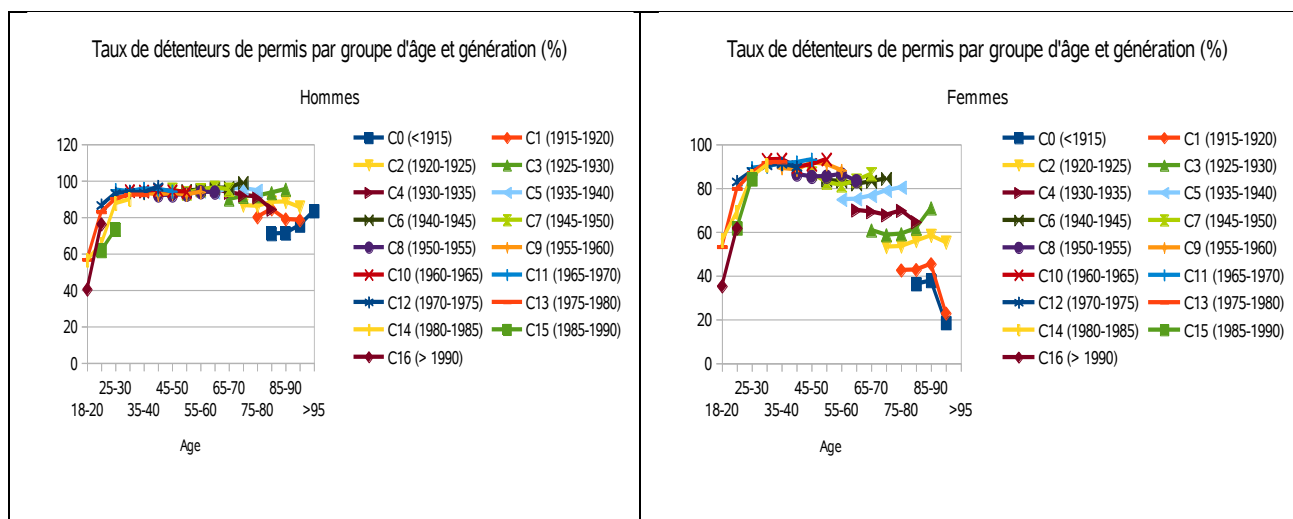
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Dans l'analyse graphique par âge et cohorte, les effets de génération peuvent être mis en évidence par la comparaison des taux de titulaires du permis entre générations pour un même groupe d'âge. On observe ainsi que, l'âge étant fixé, le taux de détenteurs du permis progresse au fil des générations, surtout au sein des générations nées avant 1945, moins par la suite. Même à des âges avancés, les proportions de titulaires du permis demeurent en retrait pour ces générations. Dans celles qui sont nées après 1945, le taux de titulaires du permis progresse beaucoup plus lentement, passant seulement de 90 à 95 % d'une génération. Dans celles nées après 1975, on observe que les taux de titulaires du permis ont plutôt tendance à baisser d'une génération à la suivante. Toutefois, ils tendent à s'homogénéiser vers trente à trente-cinq ans pour l'ensemble des générations nées après 1975, tout en s'alignant sur ceux des générations précédentes.

L'analyse par âge et cohorte tend donc à confirmer partiellement l'hypothèse d'un recul de la proportion de détenteurs du permis dans les générations récentes. Toutefois, l'évolution des comportements au sein de ces dernières présente un caractère complexe. En effet, si elle manifeste bien un recul, celui-ci ne peut être représenté sous la forme d'un écart constant entre les générations tout au long de leur cycle de vie, ce qui constitue l'hypothèse classique du modèle âge-cohorte (Gallez, 1994). En effet, il s'agirait plutôt d'une modification de l'effet d'âge par rapport aux générations précédentes. Il semble en fait que les jeunes adultes diffèrent de plus en plus le moment de passer le permis de conduire, un résultat qui est en phase avec l'analyse de la

littérature sur les comportements des « jeunes adultes » que nous avons réalisée dans la section II.1.c. Le fait que ces effets de génération soient circonscrits en début de cycle de vie suggère l'effet d'évolutions dans les conditions de vie de la jeunesse, plutôt qu'une désaffection pour la conduite. Au-delà des explications partielles qui peuvent en être avancées, l'acquisition de plus en plus tardive du permis de conduire illustre le décalage global de l'ensemble des étapes du cycle de vie – études prolongées, mise en ménage plus tardive, accès différé au premier emploi – régulièrement constaté par les démographes.

Dans la représentation graphique par âge et cohorte, les effets d'âge peuvent être mis en évidence par le moyen de l'analyse longitudinale, en étudiant la manière dont les comportements des générations successives évoluent en fonction de l'âge. Dans la génération G_0 (<1915), le taux de détenteurs du permis augmente jusqu'à l'âge de quatre-vingt cinq ans, se stabilise, puis décroît au-delà de quatre-vingt-dix ans. De même, dans la génération née entre 1915 et 1920, il augmente jusqu'à quatre-vingt-cinq ans, avant de décroître⁸⁸. Toutes les générations qui suivent sont caractérisées par un taux de titulaires du permis stable, dès lors qu'elles sont observées au-delà de l'âge de trente ans. Par contre, il tend à progresser jusque vers l'âge de trente ans pour les générations qui peuvent être observées en début de vie adulte.



Graphiques 27 : Taux de détenteurs du permis par génération et âge selon le sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Le schéma général de diffusion du permis de conduire au sein d'une génération semble donc être une progression jusque vers l'âge de trente ans environ, suivie de stabilité. L'effet d'âge n'est donc pas homogène : très important en début de cycle de vie, il a peu d'influence par la suite, ce qui s'explique par le caractère quasi-irréversible de l'acquisition du permis de conduire. Cependant, dans les générations nées après 1975, le taux de titulaires du permis tend à ralentir sa progression, et à atteindre son maximum plutôt vers l'âge de trente à trente-cinq ans, contre vingt-cinq à trente ans dans les générations précédentes. Les dernières générations semblent donc bien évoluer dans

⁸⁸ Ce déclin apparent n'est pas une diminution réelle du taux de titulaires du permis avec l'âge, mais résulte en réalité de l'écart d'espérance de vie entre hommes et femmes. La pénétration du permis étant en retrait chez les femmes dans les générations anciennes, et la population comprenant une part nettement plus importante de femmes que d'hommes au-delà d'un certain âge, le taux global de titulaires du permis décline, ce qui ne correspond à aucun effet réel de l'âge sur la propension à avoir le permis de conduire. Ces résultats confirment la nécessité de segmenter l'analyse en fonction du genre. Dès lors qu'on effectue cette segmentation, l'effet apparent du grand âge sur la proportion de titulaires du permis disparaît.

leur rapport à l'automobile avec une tendance à passer plus tardivement les examens du permis de conduire, même si les raisons de ce décalage dans le temps font l'objet d'âpres discussions.

Si on segmente l'analyse selon le sexe, il ressort clairement que la proportion de titulaires du permis de conduire dépend bien plus de la génération chez les femmes que chez les hommes, compte tenu d'une diffusion plus tardive. Alors que chez les hommes, la diffusion du permis de conduire avait déjà atteint son niveau de saturation dans la génération G_5 (1935-40), aux alentours de 95 % d'une génération, elle a continué de progresser jusqu'à la génération G_{11} (1965-70) chez les femmes, atteignant 92 % d'une génération. De ce fait, la succession des générations entraîne aujourd'hui encore une progression importante du taux de détentrices du permis.

La différenciation de l'analyse selon le sexe permet également de tester l'existence d'un écart entre hommes et femmes dans la tendance à différer les examens du permis de conduire en début de cycle de vie. Au sein des générations d'hommes G_{12} (1970-75) à G_{15} (1985-90), nées après 1970, l'évolution du taux de titulaires du permis en fonction de l'âge est la suivante :

	18-20 ans	20-25 ans	25-30 ans	30-35 ans
G_{12} (1970-75)	X	86,5 %	93,1 %	93,8 %
G_{13} (1975-80)	56,8 %	82,9 %	90,1 %	92,3 %
G_{14} (1980-85)	56,4 %	65,3 %	87,6 %	89,8 %
G_{15} (1985-90)	11,6 %	61,6 %	73,3 %	X

Tableau 5 : Taux de titulaires du permis par groupe d'âge dans les générations d'hommes G_{12} (1970-75) à G_{15} (1985-90)

Lecture : les X signifient qu'il n'y a pas d'individus de cette génération observés dans ce groupe d'âge pendant la période d'observation

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Pour le groupe des jeunes âgés de dix-huit à vingt ans, le taux de titulaires du permis a fortement diminué entre les générations G_{13} (1975-80) et G_{15} (1985-90). De même, dans les groupes de jeunes âgés respectivement de vingt à vingt-cinq ans et de vingt-cinq à trente ans, il décroît entre les générations G_{12} (1970-75) et G_{15} (1985-90). Un écart entre générations subsiste dans le groupe des jeunes âgés de trente à trente-cinq ans, quoi que nettement amoindri par rapport aux âges plus jeunes. Ces chiffres confirment donc bien la tendance des hommes de ces générations à passer le permis de plus en plus tard.

	18-20 ans	20-25 ans	25-30 ans	30-35 ans
G_{12}	X	83,0 %	87,8 %	90,4 %
G_{13}	53,3 %	79,8 %	87,0 %	91,8 %
G_{14}	56,1 %	69,1 %	85,4 %	90,6 %
G_{15}	13,0 %	61,7 %	84,1 %	X

Tableau 6 : Taux de permis chez les femmes par groupe d'âge dans les générations G_{12} à G_{15}

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

En revanche, pour les femmes, le recul du taux de permis de conduire au sein des mêmes générations est moins évident : il n'est véritablement sensible que dans la tranche d'âge des jeunes de vingt à vingt-cinq ans, mais déjà nettement moins chez les jeunes de vingt-cinq à trente ans, et pas du tout chez les jeunes de dix-huit à vingt ans.

De ces résultats se dégagent les enseignements suivants :

- Le recul apparent du taux de détenteurs du permis de conduire dans les dernières générations manifeste en réalité la tendance à différer de plus en plus tard les examens du permis de conduire ;
- Cette tendance est plus marquée chez les hommes, de sorte qu'au sein des nouvelles générations, la proportion de titulaires du permis des femmes est à présent supérieure à celle qu'on observe chez les hommes, au moins en début de cycle de vie.

On observe de plus que dans les générations nées après 1980, le taux de titulaires du permis chez les hommes au-delà de vingt-cinq ans tend à converger vers celui qu'on observe chez les femmes, qui n'a guère évolué au sein des dernières générations. Il pourrait s'agir là d'un effet de la suppression du service militaire obligatoire, qui donnait jusque-là un avantage aux hommes dans l'accès au permis de conduire, en assurant une préparation gratuite aux examens dont pouvaient bénéficier les jeunes issus de tous les milieux sociaux. Or, les générations nées après 1980 sont les premières à avoir subi l'impact de ces mesures, puisque la suppression du service militaire obligatoire date de 1997.

Au final, les effets de génération prédominent sur les effets d'âge dans la modélisation du taux de titulaires du permis de conduire, les effets d'âge étant dans l'ensemble peu importants, sauf en tout début de vie adulte. De ce fait, la progression du taux de titulaires du permis peut déjà être assez bien décrite par le moyen d'un modèle purement structurel, basé uniquement sur les taux définitifs observés par cohortes, définies à partir de la génération et du sexe, comme on l'a fait dans la section II.2.c.

Effet de la vie de couple

	Hommes seuls	Hommes en couple	Femmes seules	Femmes en couple
G0 (< 1915)	69,1%	76,1%	31,7%	35,6%
G1 (1915-20)	79,9%	82,0%	44,7%	35,7%
G2 (1920-25)	82,9%	88,0%	54,9%	53,6%
G3 (1925-30)	84,3%	93,1%	58,0%	61,8%
G4 (1930-35)	89,1%	93,8%	64,5%	72,6%
G5 (1935-40)	91,8%	95,5%	74,2%	77,5%
G6 (1940-45)	93,8%	96,0%	83,2%	82,7%
G7 (1945-50)	86,1%	96,2%	83,2%	83,2%
G8 (1950-55)	83,4%	94,3%	80,6%	87,0%
G9 (1955-60)	87,7%	93,7%	84,4%	91,7%
G10 (1960-65)	85,4%	96,1%	85,7%	92,9%
G11 (1965-70)	88,7%	96,4%	84,3%	92,5%
G12 (1970-75)	86,3%	95,4%	84,7%	90,7%
G13 (1975-80)	79,5%	92,3%	76,4%	90,6%
G14 (1980-85)	68,7%	82,4%	68,1%	84,1%
G15 (1985-90)	40,2%	50,3%	41,0%	62,9%
G16 (> 1990)	46,6%	34,7%	41,6%	26,2%
Toutes générations	79,3 %	94,0 %	70,0 %	84,6 %

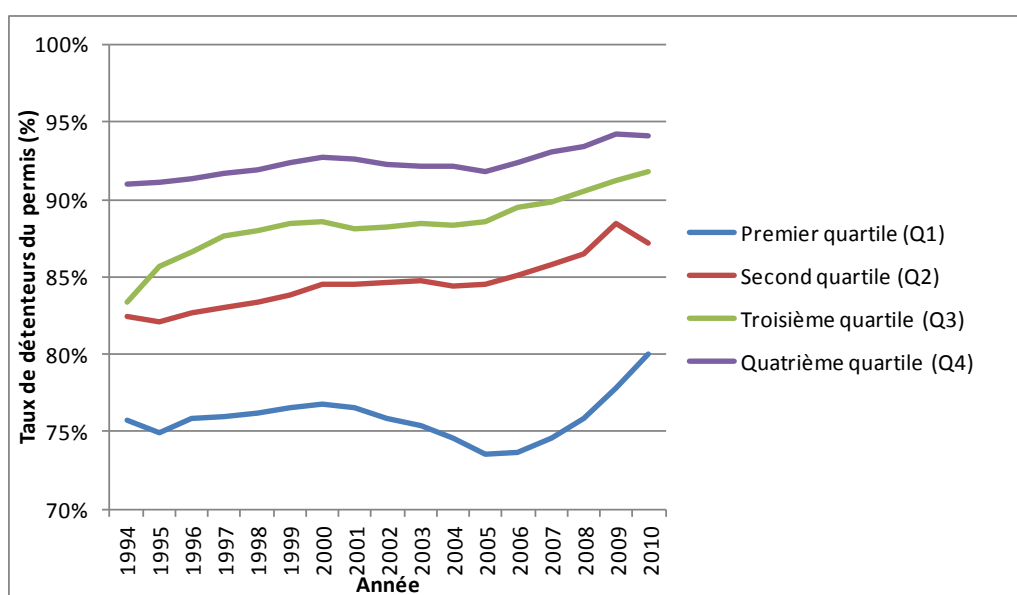
Tableau 7 : Taux de titulaires du permis de conduire en fonction du sexe, de la génération et du type de ménage

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Parmi les autres facteurs jouant un rôle décisif sur l'accès au permis de conduire, le type de ménage joue un rôle fondamental, en particulier chez les femmes. Ce facteur tend de plus à interagir avec la génération. Ainsi, globalement, on remarque une légère différence dans la déclinaison des effets de génération sur le permis de conduire entre les femmes vivant seules et

les femmes qui vivent en couple. Dans l'ensemble, la proportion de détentrices du permis de conduire a évolué de façon analogue jusqu'aux générations nées aux alentours de 1950, au sein desquelles elle a atteint environ 83 %. Cependant, alors qu'elle s'est stabilisée chez les femmes seules, elle a continué de progresser légèrement chez les femmes vivant en couple, pour atteindre environ 93 % de la génération G_{11} (1965-70). Les facteurs de cette évolution différenciée ont déjà été présentés dans le chapitre II : ils incluent notamment la possibilité croissante pour les femmes de concilier une vie de famille avec l'exercice d'une activité professionnelle, qui a constitué la transition sociale la plus importante au sein de ces générations, contribuant à augmenter leurs besoins de mobilité et donc à renforcer l'intérêt de passer le permis de conduire. Elle traduit sans doute également des effets d'interaction entre la participation à l'activité professionnelle et l'évolution de l'habitat. Ce sont en effet surtout les familles qui ont nourri la croissance de l'habitat périurbain à partir des années 1970, contribuant à une dépendance automobile plus forte au sein de ce type de ménages, tandis que les personnes seules, ayant conservé un habitat plus urbain, ont sans doute globalement moins éprouvé le besoin de passer le permis de conduire. Observons également que le taux de détenteurs du permis de conduire s'est maintenu à un niveau plus élevé chez les hommes vivant en couple au sein des générations nées après la seconde guerre mondiale, alors qu'il s'affiche plutôt en déclin chez les hommes seuls.

Effets du niveau de vie et du niveau d'études



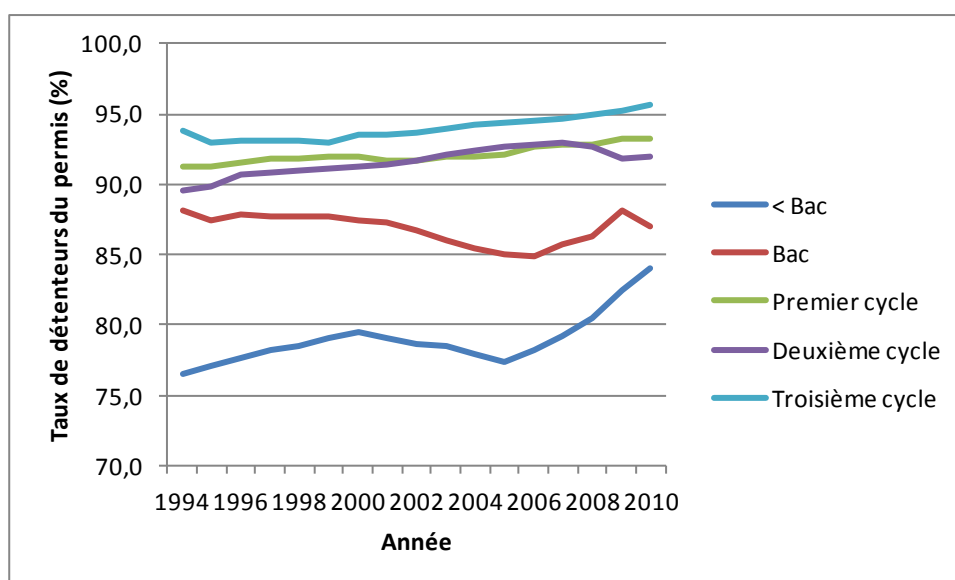
Graphique 28 : Taux annuel de détenteurs du permis de conduire par quartile de niveau de vie et année (%) –Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Le niveau de vie est l'un des principaux facteurs de variabilité du taux de détenteurs du permis de conduire, avec globalement une variation de 75,7 à 92,4 % entre le quartile inférieur et le quartile supérieur. Le manque de ressources financières semble donc à première vue constituer une entrave à l'accès au permis de conduire, dont une explication plausible est le coût de la préparation aux examens. La croissance du taux de titulaires du permis est toutefois hétérogène selon le niveau de vie. C'est dans les quartiles inférieur et supérieur qu'il progresse le moins au cours de la période d'observation, avec des augmentations respectives de + 4,2 points et de + 3,1 points. Le taux de titulaires du permis tend à plafonner dans le quartile inférieur depuis 2001, autour de 77 %, alors qu'il a continué de progresser lentement dans le quartile supérieur, pour toutefois se stabiliser depuis 2008. Le ralentissement dans la diffusion du permis de conduire

semble toutefois avoir des causes différentes chez les plus modestes et chez les plus aisés. Chez les plus pauvres, il pourrait s'agir d'obstacles liés au coût de la préparation aux examens, en lien avec la suppression du service militaire obligatoire, dans la mesure où des marges de progression semblent encore subsister avant qu'ils soient en mesure de rattraper les ménages dont les revenus sont plus élevés. Chez les plus aisés, il a probablement atteint un seuil de saturation. La progression est également assez limitée dans le second quartile, avec + 4,5 points. Le taux de détenteurs du permis s'est par contre fortement accru dans le troisième quartile, avec une augmentation de + 8,4 points, rattrapant quasiment le quartile supérieur, de sorte que la saturation y est sans doute également proche. Au final, les taux de titulaires du permis tendent à s'homogénéiser dans les deux quartiles supérieurs, mais demeurent en retrait dans le quartile inférieur. De faibles revenus semblent donc encore demeurer une entrave potentielle dans l'accès au permis de conduire.

L'effet du niveau d'études est ensuite analysé à partir d'une décomposition en cinq niveaux de diplôme : inférieur au bac (incluant l'absence de diplôme), diplôme de niveau bac, diplôme de premier cycle, de deuxième cycle et de troisième cycle.



Graphique 29 : Taux de détenteurs du permis par niveau d'études et année – lissage sur cinq ans
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

On observe bien une augmentation du taux de détenteurs du permis avec le niveau d'études, mais celle-ci n'est pas régulière. Relativement homogène dans les niveaux d'études strictement supérieurs au bac - entre 92 et 94% - il est en retrait seulement pour un niveau d'études inférieur ou égal au bac, avec respectivement 86,6 % de détenteurs du permis chez les personnes ayant un diplôme de niveau bac, et 78,8 % seulement chez les personnes dont le niveau d'études est strictement inférieur au bac. Un faible niveau d'études semble donc également pouvoir constituer une entrave dans l'accès à la conduite. De plus, en considérant l'évolution du taux de titulaires par niveau d'études, on observe qu'il semble s'être stabilisé pour l'ensemble des niveaux d'études, à l'exception des moins diplômés, pour lesquels il a encore progressé de 76,6 à 84,0 % entre 1994 et 2010. Contrairement au manque de ressources financières, un faible niveau d'études semble donc de moins en moins représenter un obstacle à la diffusion du permis de conduire.

	Hommes	Femmes	Tous
< Bac	88,4%	69,4%	78,8%
Bac	90,0%	84,0%	86,6%
Premier cycle	94,5%	90,3%	92,2%
Deuxième cycle	92,9%	91,0%	91,8%
Troisième cycle	95,3%	92,3%	94%

Tableau 8 : Taux de détenteurs du permis par sexe et niveau d'études

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

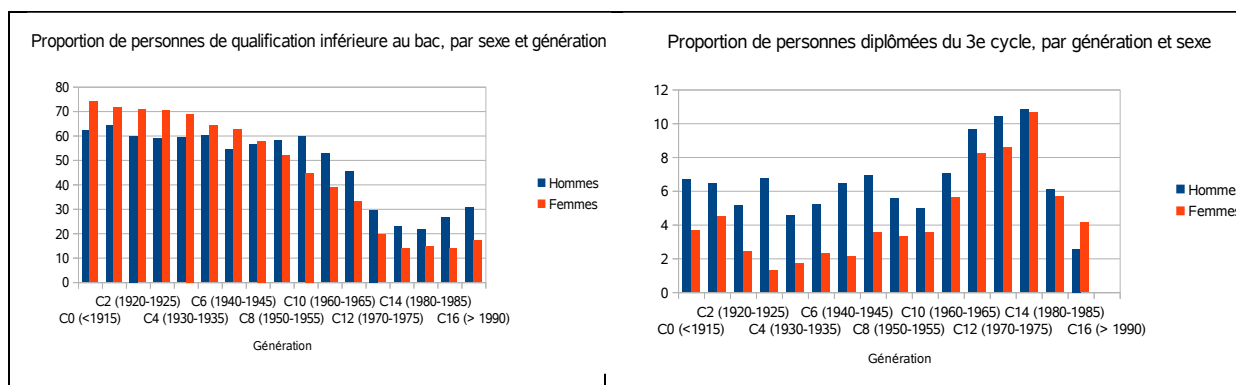
La forme générale de l'effet du niveau d'études est relativement semblable pour les hommes et les femmes, avec une diffusion homogène dans les niveaux d'études supérieurs au bac, et en retrait pour un niveau d'études inférieur ou égal au bac. Toutefois, l'effet d'un faible niveau d'études est plus marqué chez les femmes. Ainsi, le taux de possesseurs du permis de conduire est de 69,4 % chez les femmes faiblement diplômées, contre 88,4 % chez les hommes. Si le taux de détenteurs du permis est donc relativement indépendant du sexe chez les personnes fortement diplômées, il semble qu'un faible niveau d'études soit davantage pénalisant pour les femmes.

	Hommes	Femmes	Tous
< Bac	48,8%	44,9%	46,7%
Bac	21,5%	24,5%	23,1%
Premier cycle	15,5%	17,3%	16,4%
Deuxième cycle	7,3%	8,7%	8,0%
Troisième cycle	7,0%	4,7%	5,8%

Tableau 9 : Répartition des individus par niveau d'études selon le sexe (%)

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

La distribution des niveaux d'études est en outre plus homogène chez les femmes, avec une proportion supérieure de niveaux d'études intermédiaires, et à l'inverse davantage de niveaux « extrêmes », inférieurs au bac ou de troisième cycle, pour les hommes. L'élévation des niveaux d'études a contribué à la progression du taux de détenteurs du permis de conduire au fil des générations. La période de l'après-guerre est en effet caractérisée par la démocratisation de l'enseignement et l'élévation générale des niveaux de diplôme, qui s'est poursuivie jusqu'à nos jours.



Graphique 30 : Niveaux d'études par sexe et génération

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Ce mouvement s'est poursuivi jusqu'à la génération G₁₂ (1970-75). La proportion de personnes sans diplôme diminue rapidement à partir de la génération G₂ (1920-25). A partir de la génération G₆ (1940-45), on commence à observer une augmentation significative de l'accès aux formations

supérieures universitaires, et l'accès au deuxième et au troisième cycle devient plus important à partir de la génération G_{10} (1960-65)⁸⁹.

Par ailleurs, les niveaux d'études chez les femmes ont progressivement rattrapé ceux qu'on observe chez les hommes. Dans G_0 (<1915), la proportion de diplômés de niveau inférieur au bac était nettement supérieure chez les femmes à celle qu'on observait chez les hommes, et à l'inverse moins de femmes effectuaient des études supérieures. Cet écart a graduellement diminué au fil des générations, pour finalement s'annuler à partir de G_7 (1945-50). Puis, à partir de G_8 (1950-55), les niveaux d'études commencent à devenir supérieurs chez les femmes. Par la suite, cet avantage n'a fait que s'accroître. On observe même que le taux de personnes faiblement diplômées remonte chez les hommes à partir de G_{14} (1980-85), ce qui pourrait constituer un motif supplémentaire du recul plus marqué de l'accès au permis de conduire que l'on observe chez les hommes dans ces générations. En ce qui concerne les études de troisième cycle, à l'origine très rares chez les femmes, leur diffusion s'est néanmoins avérée plus rapide chez les femmes, de sorte que la proportion de femmes diplômées du troisième cycle a fini par rattraper celle observée chez les hommes dans la génération G_{13} (1975-80).

L'élévation générale des niveaux d'études, notamment chez les femmes, a sans doute contribué à réduire les entraves à l'accès au permis de conduire au fil des générations successives. En outre, l'effet du niveau d'études sur l'accès au permis de conduire interagit avec la génération. Dans les générations nées avant-guerre, l'accès au permis de conduire demeurait encore l'apanage d'une élite relative, donc d'un milieu social privilégié, à la fois très aisé et très qualifié. En se démocratisant, l'influence du niveau d'études sur l'accès au permis de conduire a diminué.

	< Bac	Bac	Premier cycle	Deuxième cycle	Troisième cycle
Premier quartile (Q1)	72,5%	79,3%	84,4%	80,2%	81,0%
Deuxième quartile (Q2)	80,4%	87,2%	92,3%	90,7%	93,0%
Troisième quartile (Q3)	84,0%	89,8%	93,9%	93,6%	92,5%
Quatrième quartile (Q4)	86,2%	90,9%	95,3%	95,8%	96,7%

Tableau 10 : Taux de détenteurs de permis par niveau de vie et d'études (%)

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Observons de plus que l'effet du revenu subsiste même lorsqu'on le croise avec le niveau de diplôme. Ainsi, parmi les personnes dont le niveau d'étude est inférieur au bac, le taux de titulaires du permis varie encore de 72,5 à 86,2 % entre le quartile inférieur et le quartile supérieur. Même parmi les personnes ayant une formation de troisième cycle, il progresse encore de 81,0 à 96,7 % entre le premier et le dernier quartile. A l'inverse, on observe qu'à niveau de vie constant, l'effet du niveau d'études sur le taux de détenteurs du permis est finalement assez restreint. L'influence apparente du niveau d'études sur le taux de titulaires du permis semble donc surtout s'expliquer par la corrélation entre le niveau d'études et le milieu social. Cette entrave est manifeste surtout pour les 20 % les plus pauvres, y compris dans les dernières générations. Ces résultats soulignent l'importance de l'enjeu social attaché à l'accès au permis de conduire, qui demeure aujourd'hui

⁸⁹ Les données disponibles indiquent une baisse tendancielle des niveaux d'études à partir de G_{12} (1970-75). Cependant, les niveaux d'études observés au sein de ces générations ne sont pas encore définitivement stabilisés. Ils ne peuvent donc véritablement être considérés comme fiables que pour les générations G_0 à G_{11} .

encore une entrave à la mobilité dans une partie de la population, et représente une limitation potentielle des opportunités individuelles.

Pour évaluer l'effet spécifique de la suppression du service militaire obligatoire sur les inégalités sociales d'accès au permis de conduire dans les générations concernées, on compare, respectivement pour les hommes et pour les femmes, les taux de détenteurs du permis chez les personnes de plus de quarante ans, qui ont toutes bénéficié de la préparation gratuite, et chez les personnes nées après 1979, qui étaient toutes mineures en 1997, donc qui ont toutes été impactées par la suppression du service militaire obligatoire. Parmi les hommes de plus de quarante ans, le taux de détenteurs du permis varie de 86,8 à 97,1 % entre le quartile inférieur de revenu et le quartile supérieur⁹⁰. Parmi les hommes nés après 1979 ayant quitté le foyer parental, les inégalités d'accès au permis de conduire sont nettement plus importantes, le taux de titulaires variant de 63,1 à 92,7 % entre le quartile inférieur et le quartile supérieur. Pour les femmes au contraire, les inégalités d'accès au permis en fonction du niveau de vie semblent être identiques chez les femmes de plus de quarante ans et dans les générations nées après 1979. Ainsi, chez les premières, le taux de détentrices du permis varie de 66,0 à 88,3 % entre le quartile inférieur et le quartile supérieur, ces chiffres étant respectivement de 69,1 et 90,9 % chez les femmes nées après 1979.

Encadré 11 : Caractéristiques des personnes sans permis

Une analyse alternative des facteurs exerçant une influence sur l'accès au permis de conduire consiste à identifier les caractéristiques des personnes sans permis. On observe tout d'abord qu'elles sont en général faiblement qualifiées : ainsi, 63,6 % d'entre elles ont un niveau d'études inférieur ou égal au bac, contre 44,3 % en moyenne. Les retraités y sont également surreprésentés – 32,6 % contre 24,7 % en moyenne - compte tenu d'un moindre accès dans les générations les plus anciennes, ainsi que les chômeurs et « autres inactifs » – 39,2 % contre 17 % dans l'ensemble de la population. La catégorie des « autres inactifs » comprend à la fois les étudiants, dont le taux de permis n'est pas encore stabilisé, les femmes au foyer, les chômeurs, plus faiblement qualifiés que la moyenne et disposant également de moindres ressources. La corrélation entre chômage et absence du permis de conduire peut également cacher une relation de causalité inverse, à savoir que l'absence du permis de conduire constitue un handicap dans la recherche d'emploi. Au sein des actifs occupés, les ouvriers sont surreprésentés – 31,2 % des « sans permis » contre 22,9 % dans l'ensemble de la population adulte – ainsi que les personnels des services aux particuliers – 13,2 % contre 4,6 %. En outre, 45,9 % des personnes sans permis appartiennent au quartile inférieur de niveau de vie, contre 27,4 % pour l'ensemble des adultes. La concentration des personnes sans permis dans le quartile inférieur est un peu accentuée par l'effet de taille des ménages, le nombre d'enfants par ménage étant un peu plus élevé dans les ménages modestes. Toutefois, les écarts de taille du ménage en fonction du niveau de vie ne sont pas si considérables, et même si on se limite aux adultes appartenant à des ménages ne comportant qu'un seul adulte, 42,2 % des non-titulaires appartiennent au quartile inférieur, contre 22,6 % chez les titulaires du permis.

Les inégalités sociales dans la diffusion du permis de conduire semblent donc être demeurées stables – et importantes - chez les femmes avant et après la suppression du service militaire obligatoire, ce qui est logique puisqu'elles n'y étaient pas astreintes, tandis qu'elles ont fortement

⁹⁰ Il subsiste donc une certaine variabilité du taux de détenteurs du permis selon le revenu même chez des adultes ayant *a priori* bénéficié de la préparation gratuite, ce qui peut traduire l'existence d'autres facteurs corrélés au revenu, et exerçant une influence sur les chances de réussite aux examens, tels que le niveau d'études ou d'instruction.

augmenté chez les hommes dans les générations qui n'ont pas bénéficié de la préparation gratuite, compte tenu d'une baisse importante du taux de titulaires chez les hommes issus de milieux modestes, de sorte que la distribution sociale du permis de conduire chez les hommes s'est rapprochée de celle que l'on observait jusqu'alors uniquement chez les femmes. Ces résultats suggèrent que la suppression du service militaire obligatoire pourrait bien avoir joué un rôle prépondérant dans le recul de l'accès au permis de conduire chez les hommes, avec des répercussions globales sur l'auto-mobilité dans l'ensemble de ses composantes.

Effets de localisation

	Hommes	Femmes	Tous
Position dans l'aire urbaine			
Ville-centre	87,3%	74,9%	80,5%
Banlieue	90,4%	79,5%	84,6%
Espace diffus	93,4%	84,3%	88,8%
Taille d'aire urbaine			
Zone rurale	93,7 %	85,3 %	89,5 %
< 100 000 h	90,2 %	80,1 %	85,0 %
100 – 200 000 h	89,2 %	76,0 %	82,2 %
+ de 200 000 h (hors Paris)	89,1 %	76,6 %	82,4 %
Paris	87,6 %	75 %	80,6 %

Tableau 11 : taux de titulaires du permis en fonction du sexe, type de zone de résidence et de la taille d'agglomération

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

La proportion de détenteurs du permis varie également selon le type du lieu de résidence, augmentant de 80,5 à 88,8 % entre les villes-centres et les espaces d'urbanisation diffuse. Il atteint 89,5 % dans les zones rurales, 85,0 % dans les agglomérations de moins de 100 000 habitants, et 80,6 % dans l'agglomération parisienne. Le taux de détenteurs du permis de conduire décroît donc globalement avec la densité urbaine : il est plus faible dans les grandes agglomérations et dans les zones centrales des aires urbaines, en raison des alternatives qu'elles offrent à l'usage de l'automobile. Toutefois, l'influence du type de lieu de résidence sur la détention du permis de conduire demeure relativement limitée, ce qui peut s'expliquer par le caractère irréversible de l'acquisition du permis de conduire, que l'individu conservera indépendamment des changements de lieux de résidence émaillant son parcours.

Toutefois, les effets de localisation diffèrent selon le sexe, et sont plus importants pour les femmes que pour les hommes. Pour les hommes, l'écart dans la diffusion du permis de conduire entre villes-centres et espaces d'urbanisation diffuse est limité à 6 points, contre 10 points chez les femmes. Les mêmes écarts se retrouvent entre les communes de l'espace à dominante rurale et l'agglomération parisienne.

Position dans l'aire urbaine	Villes-centres		Banlieues		Espaces diffus
Détenteurs du permis	28,7 %		29,1 %		42,2 %
Non-détenteurs du permis	39 %		30,0 %		31,0 %
Taille d'aire urbaine	Zone rurale	< 100 000 h	100 – 200 000 h	+ de 200 000 h (hors Paris)	Paris
Détenteurs du permis	27,4 %	30,5 %	6,2 %	21,5 %	14,5 %
Non-détenteurs du permis	17,8 %	30,0 %	7,4 %	25,5 %	19,4 %

Tableau 12 : Répartition de la population par type de lieu de résidence selon la possession du permis de conduire

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

De plus, la distribution de la population par zones de résidence diffère selon qu'on considère les individus avec ou sans permis. Ainsi, 39 % des individus n'ayant pas le permis résident au sein des villes-centres, contre 28,7 % des titulaires. A l'inverse, 31 % des non-titulaires résident dans les espaces d'urbanisation diffuse, contre 42,2 % des titulaires. Cependant, le seul constat de l'existence d'une corrélation entre la possession du permis de conduire et le lieu de résidence ne permet pas d'établir le sens dominant de la causalité. En effet, en l'absence d'éléments supplémentaires, cette corrélation peut être interprétée de deux manières différentes : soit le lieu de résidence exerce une influence sur la décision de passer le permis de conduire, soit à l'inverse la possession du permis de conduire oriente le choix résidentiel vers certaines localisations, à travers un processus d'auto-sélection (*cf. encadré dans section II.2.b.1*).

Cependant, on observe également qu'une proportion substantielle de personnes ne disposant pas du permis de conduire réside au sein des espaces d'urbanisation diffuse, ce qui est susceptible de s'expliquer de différentes manières :

- L'absence du permis de conduire n'est pas un critère aussi rédhibitoire qu'on pourrait le penser *a priori* à un lieu de résidence en zone peu dense, car d'autres moyens de transport suffisamment performants existent ;
- Certains non-titulaires choisissent de résider au sein des zones diffuses en raison de faibles besoins de mobilité – lieu de travail à proximité du domicile, absence de déplacements professionnels pour les retraités et les femmes au foyer, lieu de résidence dans un bourg bien équipé en commerces et services ;
- Certains non-titulaires ne voyagent pas en tant que conducteurs, mais en tant que passagers, et sont accompagnés par leur conjoint ou tout autre membre du ménage ;
- Certains non-titulaires disposent de faibles ressources ne leur permettant pas un accès aux zones urbaines denses, de sorte qu'elles sont filtrées par les marchés immobiliers. Dans ce cas, leurs conditions de mobilité s'en trouvent sérieusement dégradées.

Pour aider à discerner entre ces diverses hypothèses, on peut analyser le choix du lieu de résidence en fonction du niveau de vie, aussi bien pour les titulaires que pour les non-titulaires, afin de déterminer si ce dernier exerce une influence, toutes choses égales par ailleurs, sur le choix du lieu de résidence et à l'inverse si, pour un même niveau de vie, le choix du lieu de résidence diffère entre les titulaires et les non-titulaires.

	Villes-centres	Banlieues	Espaces diffus
Détenteurs du permis (Q1)	27,4 %	22,3 %	50,4 %
Non-détenteurs du permis (Q1)	39,1 %	25,1 %	35,8 %
Détenteurs du permis (Q2)	26,6 %	26,4 %	47,0 %
Non-détenteurs du permis (Q2)	37,0 %	32,0 %	31,0 %
Détenteurs du permis (Q3)	28,3 %	30,5 %	41,1 %
Non-détenteurs du permis (Q3)	39,6 %	34,3 %	26,1 %
Détenteurs du permis (Q4)	32,7 %	37,6 %	29,7 %
Non-détenteurs du permis (Q4)	42,0 %	39,1 %	18,9 %

Tableau 13 : Répartition des individus adultes par type de lieu de résidence selon la possession du permis de conduire et le niveau de vie par quartiles

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

On observe que la proportion de personnes ne disposant pas du permis de conduire et résidant en ville-centre est peu différenciée selon le niveau de vie, qui influe principalement sur leur répartition entre banlieues et espaces d'urbanisation diffuse. Parmi les non-titulaires, la proportion d'habitants des zones peu denses est ainsi deux fois plus élevée dans le quartile inférieur de

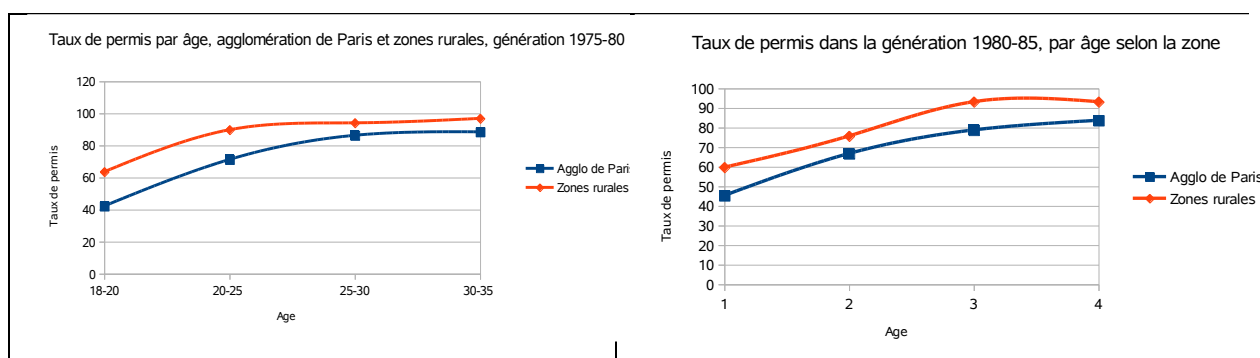
revenu que dans le quartile supérieur. Ce différentiel de répartition se retrouve toutefois également chez les titulaires.

L'analyse croisée permet en fait de discerner deux phénomènes distincts :

- En premier lieu, l'influence du niveau de vie sur le choix résidentiel : la proportion de résidents des zones peu denses est d'autant plus élevée que le niveau de vie est faible, reflétant le processus de filtrage résidentiel opéré par les marchés immobiliers. Par exemple, la proportion de résidents des espaces diffus parmi les non-titulaires varie de 18,9 % à 35,8 % entre le quartile supérieur et le quartile inférieur ;
- Par ailleurs, à revenu égal, les non-titulaires résident plus fréquemment en cœur d'agglomération que les titulaires, ce qui tend à prouver l'existence d'un mécanisme d'auto-sélection résidentielle, à savoir que lorsqu'elles en ont la possibilité, les personnes n'ayant pas le permis privilégient massivement les zones faiblement dépendantes de l'automobile.

Les personnes n'ayant pas le permis de conduire sont donc soumises à une double contrainte, dans la mesure où l'absence de permis oriente leur choix de lieu de résidence vers les zones urbaines denses bien pourvues en alternatives à la voiture, mais dans le même temps, leurs faibles ressources financières peuvent entraver ce projet, compte tenu du différentiel de coût du logement entre le centre et la périphérie. Au final, la redistribution spatiale des populations en fonction du niveau de vie est plus importante chez les titulaires que chez les non-titulaires, ce qui peut s'interpréter en considérant que les non-titulaires accordent un prix plus élevé à la conservation d'un lieu de résidence faiblement captif de l'automobile.

A l'inverse, la décision de passer le permis de conduire est-elle influencée par le lieu de résidence ? Pour apporter des éléments de réponse à cette question, il est nécessaire d'adopter une approche longitudinale, en suivant la manière dont les taux de permis évoluent avec l'âge au sein d'une génération ou pour un type de zone déterminée.



Graphique 31 : Taux de détenteurs de permis par âge dans les générations G13 (1975-80) et G14 (1980-85), dans les zones rurales et l'agglomération de Paris

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Il est de plus nécessaire d'observer des générations en début de cycle de vie, dans la période où elles passent le permis de conduire, ce qui implique de concentrer l'analyse sur les dernières générations observées. Dans la génération G₁₄ (1980-85), il ne semble pas que l'on passe le permis plus tôt en zone rurale que dans l'agglomération parisienne. On observe par contre une différence entre zones dans le niveau de stabilisation définitif du taux de permis. A l'inverse, dans la génération G₁₃ (1975-80), les taux de détenteurs du permis tendent à s'homogénéiser entre les zones de résidence avec l'avancée en âge. En effet, dans la génération G₁₄ (1980-85), le taux de

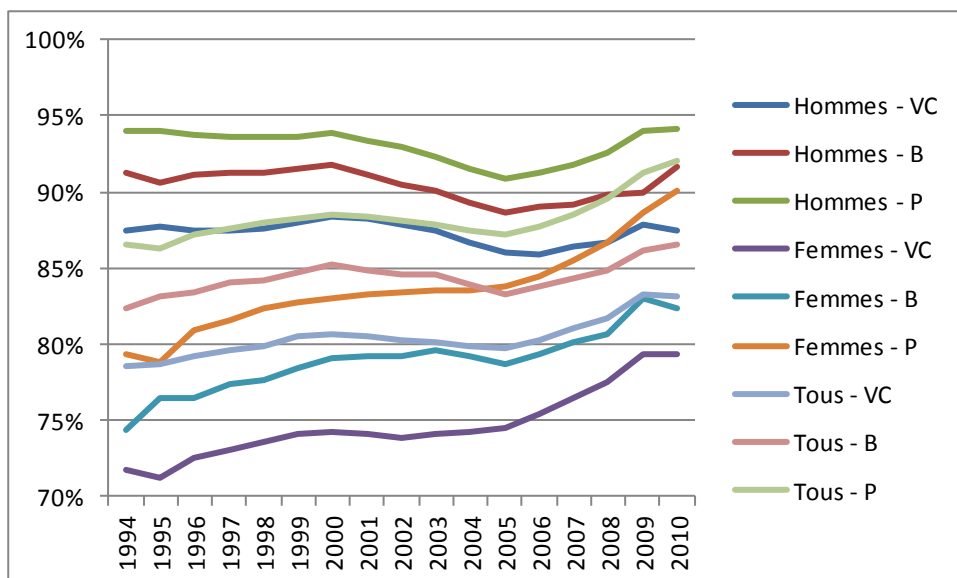
détenteurs du permis tend à se stabiliser à un niveau inférieur à celui de la génération précédente, du moins dans les zones faiblement dépendantes de l'automobile, ce qui indique qu'une partie des habitants de ces zones choisissent de ne pas passer le permis de conduire, ce qui pourrait constituer le signe de comportements plus « rationnels » au sein des nouvelles générations, dans lesquelles la décision de passer le permis de conduire serait davantage évaluée à la lumière des besoins liés aux circonstances de la vie présente. Ces décisions pourraient néanmoins représenter un handicap au sein de ces générations, lorsque les individus sont amenés à changer de lieu de résidence par l'effet des circonstances de la vie.

Encadré 12 : Zonages fixes ou évolutifs ?

Dans l'étude des évolutions par zone, il est nécessaire préalablement de déterminer si on choisit d'utiliser un zonage fixe ou évolutif (*Julien, 2000*). Les zonages de l'INSEE, qui sont utilisés ici, sont en effet redéfinis à l'occasion de chaque recensement. La raison en est notamment l'extension continue des périmètres des agglomérations et de leurs aires urbaines, sous l'effet à la fois de la croissance démographique et du desserrement des agglomérations. Cette extension fut très importante au cours des décennies passées. En raison des modifications de périmètres, les différentes zones – agglomération, périurbain – ne recouvrent pas exactement les mêmes territoires au fil du temps, mais des territoires en évolution, généralement en extension.

Si on souhaite mesurer des évolutions non pas relatives à une zone fixe mais à un type de zone, une première possibilité consiste à mesurer les évolutions au sein de zones évolutives. L'évolution du comportement moyen tendra alors à rendre compte à la fois de l'évolution des comportements des résidents de la zone dans sa configuration initiale – qui peuvent eux-mêmes avoir changé – et des comportements des nouveaux résidents dans les extensions. Le postulat sous-jacent à l'observation de l'évolution des comportements dans une zone elle-même évolutive est qu'il y a un sens à considérer que la zone dans sa configuration finale représente la même réalité fondamentale que la zone dans sa configuration initiale, et que le comportement des résidents des extensions de la zone est relativement homogène par rapport au comportement des résidents de la zone dans sa configuration initiale. On suppose donc que la relation « appartenir à l'agglomération » ou la relation « appartenir aux espaces diffus », représentent des réalités relativement stables au cours du temps.

A l'inverse, on peut figer le découpage initial et considérer l'évolution des comportements sur la base d'un zonage invariant dans le temps. L'avantage de cette option est qu'il n'est plus nécessaire d'effectuer d'hypothèses sur l'homogénéité des objets « agglomération » ou « espace diffus » à travers le temps, l'évolution des comportements ne traduisant plus des changements de périmètres. Elle ne permet pas, toutefois, de s'abstraire de changements de population sur le territoire, dont certains peuvent être représentés par les variables prises en compte mais d'autres omis. Elle ne permet pas non plus de rendre compte des communes qui ont basculé d'une zone à une autre entre les recensements. Toutefois, il apparaît que, d'une part ces changements de zone sont relativement limités, d'autre part on peut supposer que les modifications dans les conditions de transport et de mobilité induites par ces basculements sont le plus souvent mineures. L'adjonction de la log-densité comme variable explicative, une variable réactualisée à l'occasion de chaque recensement, sera cependant utilisée à la place de variables de zonage dans la section III.2 consacrée à la modélisation, ce qui limite ce type de problèmes et permet de prendre en compte les variations de densité au cours du temps.

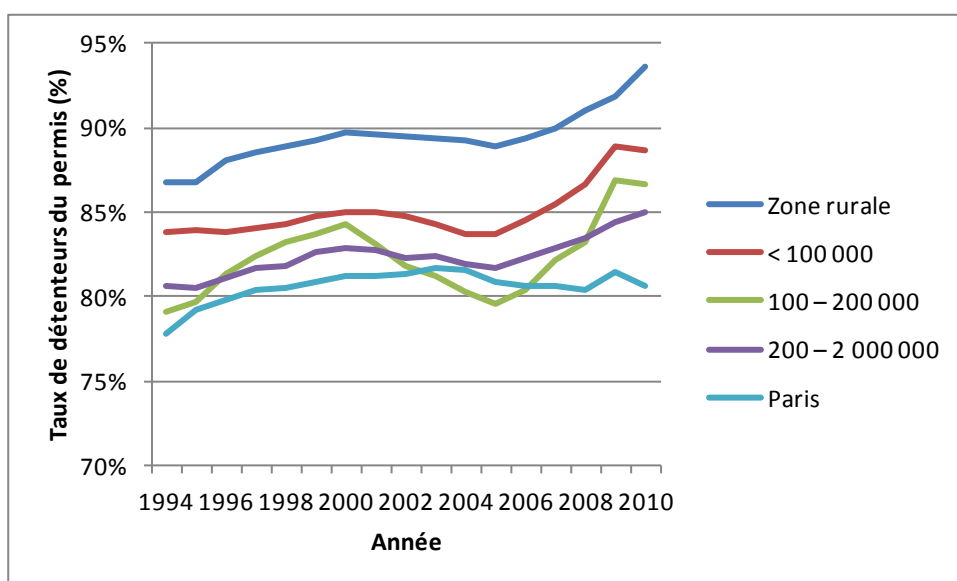


Graphique 32 : Taux annuel de détenteurs du permis par sexe et zone de résidence (%) – lissage sur cinq ans

Lecture : VC= Villes-centres ; B=Banlieues ; P=Périphéries (Espaces d'urbanisation diffuse + Espace à dominante rurale)

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

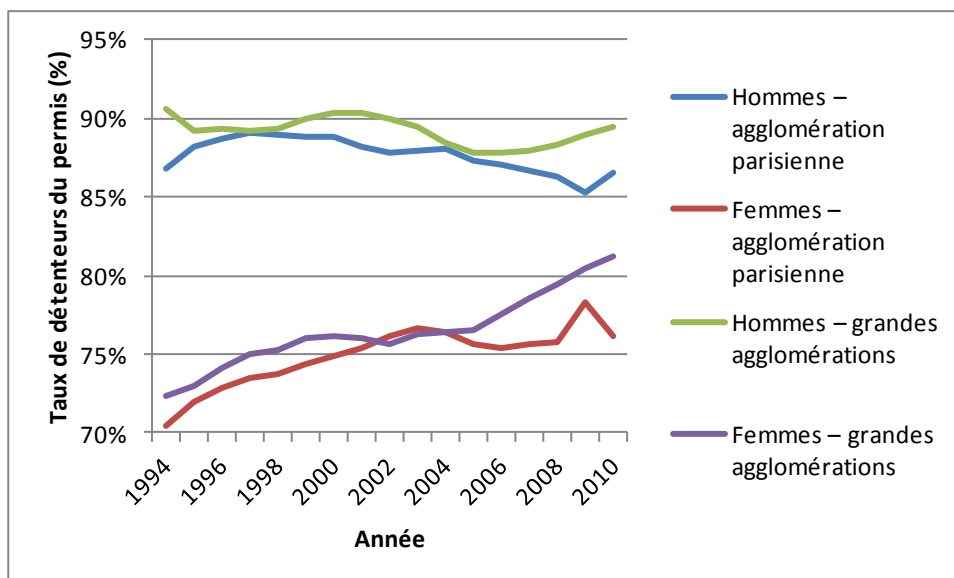
Au cours de la période d'observation, le taux de titulaires du permis a progressé de manière assez homogène entre les différentes zones de résidence, de sorte que les écarts entre zones n'ont pas fortement augmenté. Toutefois, la temporalité de ces évolutions est différente : ainsi, la diffusion du permis de conduire s'est poursuivie plus tardivement dans les espaces diffus, jusqu'en 2010, alors qu'elle avait déjà atteint un niveau de saturation depuis 1999 dans les agglomérations. Chez les hommes, les écarts entre zones se sont stabilisés, les taux de détenteurs du permis ayant atteint des niveaux de saturation dans l'ensemble des zones de résidence. Ce sont donc uniquement les femmes qui ont contribué à l'accroissement des écarts entre zones, avec une diffusion du permis un peu plus importante chez les femmes dans les espaces d'urbanisation diffuse que dans les agglomérations.



Graphique 33 : Taux annuel de détenteurs de permis par taille d'agglomération (%) – lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Une analyse par taille d'agglomération montre en outre que la proportion de titulaires du permis a augmenté de 77,8 à 80,6 % dans l'agglomération parisienne, mais plafonne depuis 1998. Depuis 2006, elle est même légèrement en baisse chez les hommes dans l'agglomération parisienne. De même, dans les grandes agglomérations françaises en dehors de Paris, la diffusion du permis de conduire a faiblement augmenté, progressant seulement de 80,6 à 85,0 % de titulaires. A l'inverse, dans les zones rurales, la diffusion s'est poursuivie à un rythme soutenu, le taux de titulaires ayant progressé de 86,8 à 93,6 %. La même tendance se retrouve dans les agglomérations de moins de cent-mille habitants. Dans l'ensemble des zones, la diffusion du permis de conduire semble cependant désormais très proche de la saturation, de sorte que les écarts entre zones vont tendre à se stabiliser.



Graphique 34 : Taux annuel de détenteurs de permis par sexe dans les grandes agglomérations (%) – lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Plusieurs enseignements se dégagent de ces résultats :

- La diffusion du permis de conduire est plus rapide dans les zones peu denses, accentuant l'écart avec les zones denses. Toutefois, les taux de titulaires du permis sont maintenant assez proches de niveaux de saturation dans l'ensemble des zones de résidence ;
- Le seuil de saturation est d'ores et déjà atteint chez les hommes, tandis que la diffusion du permis de conduire se poursuit chez les femmes. Dans l'agglomération parisienne, le taux de titulaires du permis est déjà en baisse chez les hommes et a atteint un seuil de saturation chez les femmes ;
- L'achèvement de la diffusion du permis de conduire chez les hommes fournit de l'information sur les seuils de saturation. Elle montre que ces derniers sont hétérogènes selon le type de zone de résidence, et corrélés avec le niveau de dépendance automobile.

III.1.c.2) Les déterminants de la motorisation des titulaires du permis

Au moins sur un plan légal, l'utilisation d'un véhicule personnel requiert la possession du permis de conduire. Compte tenu de la différence de nature entre le permis et la disposition d'un véhicule personnel, l'un représentant un acquis définitif tandis que l'autre constitue une décision

circonstancielle et par conséquent réversible, l'inverse n'est généralement pas vrai : le fait d'être titulaire du permis de conduire n'entraîne pas nécessairement le fait d'être motorisé, ce dont on peut se rendre compte aisément en comparant le taux de détenteurs du permis de conduire avec le taux d'adultes motorisés. Par conséquent, la relation entre la détention du permis de conduire et la motorisation est asymétrique : avoir le permis de conduire est une condition nécessaire pour être motorisé, mais pas suffisante.

Mal évaluée, la conduite sans permis existe néanmoins, en France comme dans d'autres pays, et pourrait tendre à se développer avec l'augmentation des retraits de permis, consécutive au durcissement des politiques de sécurité routière (*cf. encadré dans section II.2.b.1*). Elle peut aussi concerner des jeunes adultes qui n'ont jamais passé le permis de conduire, et ont donc, pour certains d'entre eux, toujours conduit dans l'illégalité. En dehors de l'illégalité, un individu peut également posséder des véhicules hors d'usage, qui ont cessé de rouler, tels que des véhicules de collection. Dans ces cas de figure minoritaires, l'identification de l'individu comme « utilisateur principal » n'a guère de sens. Il subsiste donc une certaine proportion de personnes n'ayant pas le permis, mais néanmoins identifiées comme utilisatrices principales d'un véhicule.

	Non-motorisé	Motorisé	Total
Absence de permis	94,2%	5,8%	100,0 %
Présence de permis	31,5%	68,5%	100,0 %

Tableau 14 : Proportion d'adultes motorisés selon la détention du permis

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

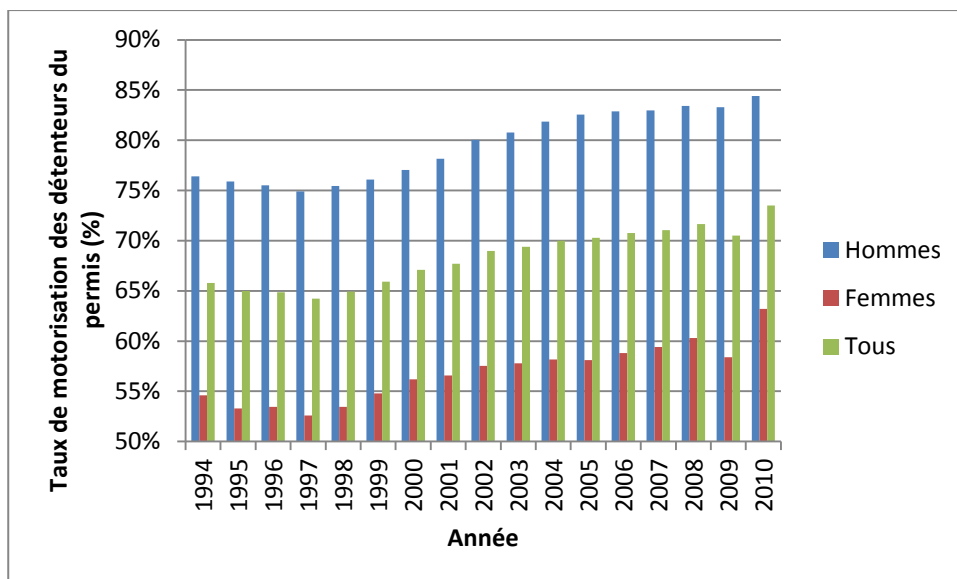
A partir des fichiers de *ParcAuto*, on observe que parmi les adultes n'ayant pas le permis, seuls 5,8 % se sont déclarés utilisateurs principaux d'un véhicule. Ils ne représentent donc qu'un très faible nombre d'observations, compte tenu à la fois de la faible proportion de personnes n'ayant pas le permis et de la faible proportion de personnes se déclarant utilisatrices principales d'un véhicule parmi celles n'ayant pas le permis : elles représentent environ 1 690 observations sur 191 000, soit à peine 0,9 % des observations.

Cette évaluation est-elle sous-estimée ou surestimée ? Il est *a priori* difficile de répondre à cette question. On peut supposer que les personnes conduisant de manière illégale auront tendance, par méfiance, à dissimuler ce fait à l'enquêteur, même si celui-ci indique explicitement que l'enquête n'a pas d'objectif de police. Mais d'autre part, dans certains cas la personne peut avoir oublié de déclarer la possession du permis de conduire. Dans les analyses qui suivent, ainsi que dans la section III.2 consacrée à la modélisation, et sous réserves d'analyses plus approfondies, on supposera que les adultes n'ayant pas le permis ne sont pas motorisés, ce qui ne conduit à écarter qu'un très petit nombre de cas. Une évaluation plus précise de la conduite sans permis demeure néanmoins nécessaire.

Les facteurs exerçant une influence sur les décisions de motorisation sont multiples. On en décrit ici quelques-uns, en commençant par les effets de génération et d'âge, puis de l'activité professionnelle, du niveau de vie, de l'existence d'une vie de couple, du lieu de résidence. Dans *Grimal (2013)*, nous avons montré à partir de la dernière enquête nationale transport que le taux de motorisation et l'usage de la voiture étaient fortement corrélés aux contraintes professionnelles, familiales et spatiales. Toutefois, nous montrerons dans cette section que l'influence des besoins de mobilité sur les taux de motorisation diffère nettement selon le genre.

Effets de la génération, du sexe et de l'âge

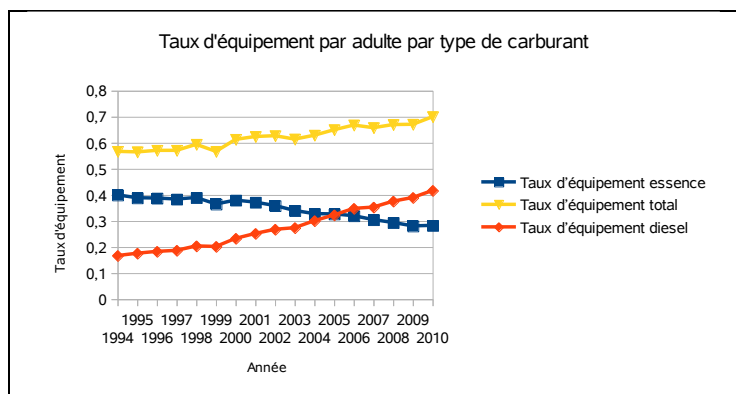
Globalement, parmi les titulaires du permis, un peu plus des deux tiers sont utilisateurs principaux d'un véhicule (68,5 %). Des marges semblent donc encore subsister pour la diffusion d'un véhicule personnel, même si on peut supposer que le seuil de saturation se situera à un niveau nettement inférieur à celui d'un véhicule par adulte, pour les raisons déjà mentionnées à plusieurs reprises – absence de besoin, limitations financières persistantes, grand âge, etc. Les niveaux de motorisation sont toutefois hétérogènes selon le genre, bien davantage que ne l'est la pénétration du permis de conduire : ainsi, la proportion d'utilisateurs principaux chez les hommes détenteurs du permis s'élève à 79,7 %, alors qu'elle atteint seulement 57,1 % chez les femmes.



Graphique 35 : Evolution annuelle du taux de motorisation des détenteurs de permis par sexe – lissage sur cinq ans

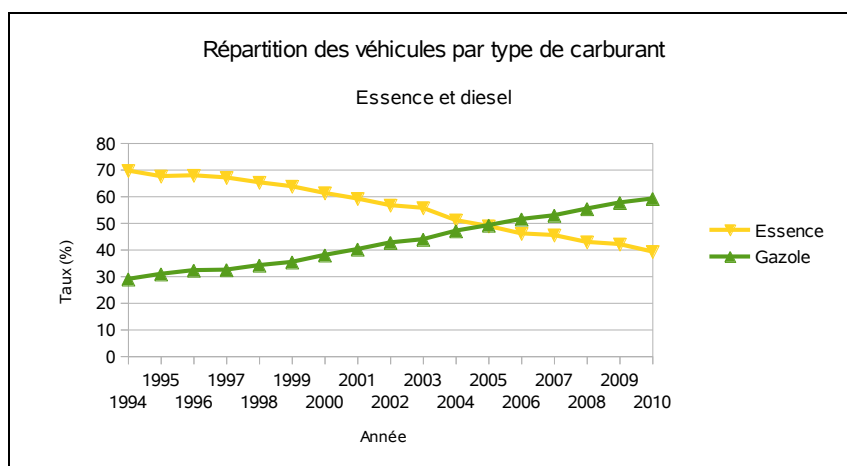
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

La proportion d'utilisateurs principaux chez les détenteurs du permis augmente au fil du temps, passant de 65,8 à 73,5 % entre 1994 et 2010. Par conséquent, la diffusion du permis de conduire ne contribue pas seule à la croissance de l'auto-mobilité, mais également, les détenteurs du permis sont de plus en plus souvent utilisateurs principaux d'un véhicule. La diffusion de l'accès à un véhicule personnel s'effectue à un rythme homogène entre hommes et femmes, mais à des niveaux différents, indiquant un retard dans l'accès à un véhicule personnel chez les femmes. En outre, on remarque l'existence d'effets de période dans le rythme de diffusion de l'accès à un véhicule personnel, qui se déclinent de façon différenciée selon le genre. Chez les femmes, il n'y a pas de rupture très marquée, la diffusion de l'accès à un véhicule personnel se poursuivant régulièrement sur l'ensemble de la période d'observation. A l'inverse, la croissance du taux de motorisation des titulaires du permis est plus irrégulière chez les hommes, avec une période de stabilité vers la fin des années 1990, suivie d'une reprise marquée de l'augmentation de la proportion d'utilisateurs principaux pendant la décennie 2000. La poursuite de la croissance du taux de motorisation chez les détenteurs du permis indique que les niveaux de saturation ne sont pas encore atteints, même s'ils sont sans doute en voie de l'être chez les hommes.



Graphique 36 : Nombre de voitures par adulte par type de motorisation

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

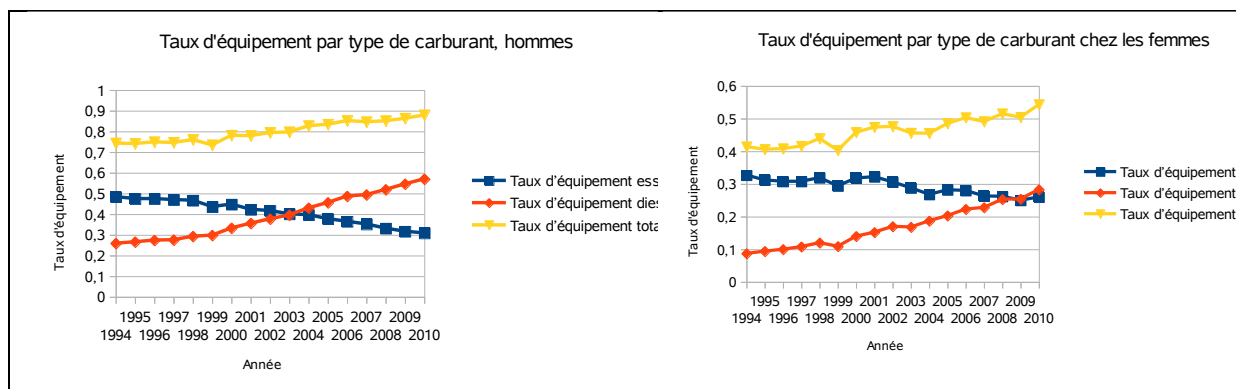


Graphique 37 : évolution de la structure du parc de véhicules par type de motorisation

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'effet de période mis en évidence demande cependant lui-même à être expliqué. Il correspond en fait, comme le montrent les graphiques 36 à 38, à une accélération dans les achats de véhicules *diesel* à partir de l'an 2000, qui a entraîné à la fois une accélération globale de la croissance du taux de motorisation des adultes, et un renforcement de la part des véhicules *diesel* au sein du parc de véhicules des ménages. On n'observe pas, en revanche, d'inflexion analogue pour les motorisations de type essence, qui déclinent régulièrement sur l'ensemble de la période d'étude. Ainsi, le taux de motorisation en véhicules essence a diminué de 0,4 à 0,28 véhicules par adulte entre 1994 et 2010, tandis qu'il augmentait de 0,12 à 0,29 pour les véhicules *diesel*.

La *dieselisation* du parc est particulièrement marquée chez les hommes, pour lesquels le taux d'équipement en véhicules essence recule de 0,48 à 0,31 véhicules par adulte, et le taux d'équipement en véhicules *diesel* progresse de 0,24 à 0,55 véhicules par adulte, faisant donc plus que doubler sur une période relativement courte. L'explication de cette accélération réside probablement dans l'envolée des prix des carburants, qui ont connu un pic en l'an 2000, suivi d'une progression plus continue de 2004 à 2008, accompagnée d'une forte volatilité (cf. section II.2.a.3). Dans ce contexte, les ménages ont sans doute été amenés à anticiper des décisions d'achat de véhicules qui étaient déjà projetées, et ont été incités à réduire les coûts d'usage des véhicules, en remplaçant le véhicule principal du ménage par un véhicule *diesel* plus économe, compte tenu à la fois de prix à la pompe plus faibles que dans le cas d'un véhicule essence, et de consommations inférieures (cf. section II.2.a.3).

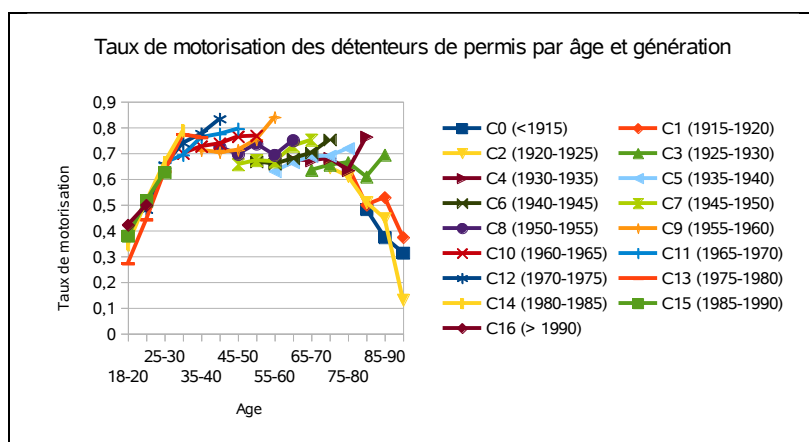


Graphique 38 : Nombre de voitures par adulte par type de motorisation, selon le sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

A l'inverse, la baisse récente des prix des carburants depuis 2012 semble avoir contribué à un report des achats de véhicules vers les motorisations essence (cf. section I.2.c.1). Ces résultats suggèrent que la croissance du parc de véhicules, aussi bien que les choix de motorisation, sont sensibles aux évolutions de prix des carburants, avec le résultat paradoxal qu'une forte augmentation des prix est susceptible d'entraîner au moins à court terme une croissance plus rapide du parc de véhicules, en poussant les ménages à anticiper des décisions d'achat en se tournant vers des véhicules moins coûteux à l'usage, tandis que l'urgence de renouveler le parc de véhicules serait moins pressante en période de prix bas. Ces tendances montrent toute l'importance des effets d'anticipation dans la formation de la demande de voitures particulières. Un autre exemple d'effet d'anticipation est fourni par la forte augmentation des achats de véhicules avant 2011, et la chute des ventes qui a suivi en 2012 et 2013, les ménages ayant anticipé la fin du dispositif de bonus-malus et de prime à la casse. Bien que ces effets d'anticipation aient peu d'influence sur la croissance à long terme du parc automobile, qui est extrêmement régulière et déterminée principalement par des évolutions sociodémographiques structurelles, ils induisent probablement des variations dans la temporalité des décisions d'achat et des fluctuations à court terme dans le rythme de croissance du parc automobile. Toutefois, dans le modèle présenté dans la section III.2, on ne prendra pas en compte les effets des prix des carburants sur le rythme de croissance du parc automobile, dans la mesure où on est surtout intéressés à dissocier les facteurs structurels de croissance du parc automobile à long terme, des influences économiques présentant un caractère plus temporaire, qui s'exercent sur l'usage des véhicules. La littérature atteste d'ailleurs d'un effet relativement mineur du prix du carburant sur la motorisation des ménages (Sweeney, 1978 ; Johansson et Schipper, 1997). Toutefois, dans le cadre d'un exercice de projection de la demande, il pourrait être intéressant de prendre en compte l'effet des prix des carburants sur les dynamiques de motorisation. En effet, bien qu'ils exercent une influence davantage sur les fluctuations à court terme dans la croissance du parc automobile que sur sa croissance à long terme, ils peuvent induire à long terme un effet sur l'usage des véhicules à travers l'évolution des types de motorisation, dans la mesure où la baisse du coût d'usage des véhicules qui en résulte tend à susciter à la longue une reprise de leur utilisation, connue sous le nom « d'effet de rebond » (Greene et al., 1999). Pour cela, il serait sans doute nécessaire de segmenter le modèle par type de motorisation, les véhicules *diesel* ayant tendance à être davantage plébiscités en périodes de prix élevés. La prise en compte du coût d'usage des véhicules, plutôt que des prix des carburants, serait sans doute encore plus judicieuse, l'un des facteurs du regain d'intérêt récent des ménages pour les motorisations essence étant l'amélioration de leur performance énergétique, induite par la technique du *downsizing*. Il serait alors possible de simuler l'évolution du parc ainsi que sa structure par type de motorisation en fonction de différentes hypothèses d'évolution des prix et d'efficacité énergétique des véhicules.

Lorsqu'on combine les résultats précédents avec les évolutions dans les proportions de détenteurs du permis, on peut déterminer l'évolution résultante des taux de motorisation. Globalement sur l'ensemble de la période d'observation, environ 60,4 % des adultes sont motorisés, au sens de l'accès à un véhicule personnel. Compte tenu des différences à la fois en matière d'accès au permis de conduire et d'accès à un véhicule personnel chez les détenteurs du permis de conduire, la proportion de femmes disposant d'un accès à un véhicule personnel est nettement inférieure à celle qu'on observe chez les hommes, s'élevant à 46,1 % contre 73,2 %. Elle a toutefois davantage progressé chez les femmes, avec une croissance de plus de 12 points contre seulement 7,4 points chez les hommes, compte tenu d'une plus grande proximité de la saturation chez ces derniers, et à l'inverse de la subsistance de réserves de croissance potentielle encore importantes chez les femmes. Ces marges de progression portent surtout sur la disposition d'un véhicule personnel chez les detentrices du permis, plutôt que sur la diffusion du permis de conduire qui est déjà proche de la saturation, même chez les femmes.



Graphique 39 : Taux de motorisation des détenteurs du permis par âge et cohorte

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

On analyse ensuite la contribution des effets de génération à l'augmentation de la proportion d'utilisateurs principaux parmi les détenteurs du permis de conduire, sur la base d'une analyse de type âge-cohorte. En première lecture, on observe que le taux de motorisation des détenteurs du permis suit une courbe en cloche, caractérisée par une progression jusqu'à l'âge de quarante à quarante-cinq ans, suivie d'un lent déclin jusqu'à l'âge de soixante-quinze à quatre-vingts ans, qui s'accélère au-delà de quatre-vingts ans. L'évolution du taux de motorisation des détenteurs du permis est également caractérisée par l'existence d'effets de génération. Ainsi, pour un groupe d'âge donné, il progresse continuellement jusqu'à la génération G_{12} (1970-75), pour laquelle un maximum semble avoir été atteint, avec plus de 80 % des titulaires du permis motorisés en milieu de cycle de vie. Il décline dans les générations suivantes.

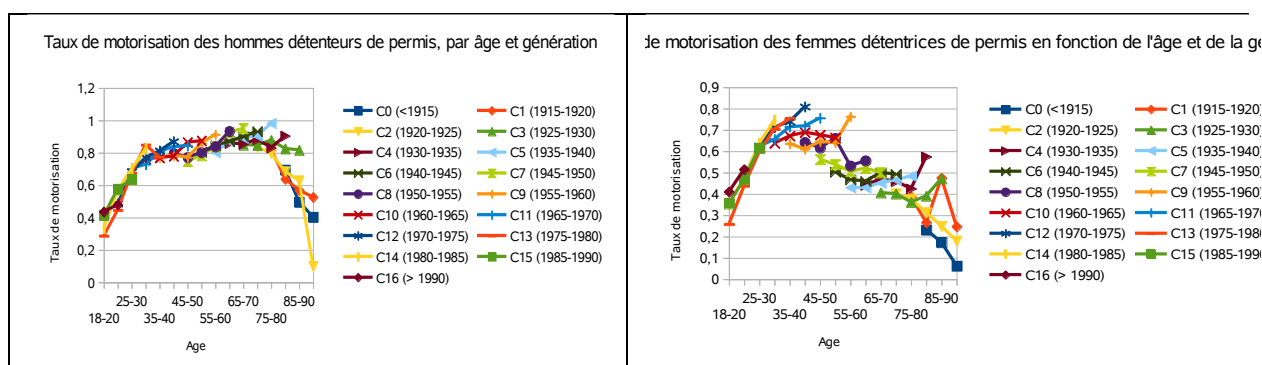
Lorsqu'on différencie l'analyse de l'effet de l'âge en fonction de la génération, on observe en outre que :

- La baisse du taux de motorisation au-delà de soixante-quinze à quatre-vingts ans est spécifique aux générations nées avant 1925, mais on ne l'observe déjà plus dans les générations suivantes ;
- Le taux de motorisation maximal est atteint de plus en plus tôt jusqu'à la génération G_{12} (1970-75), et à un niveau de plus en plus élevé. En fait, une lecture attentive montre qu'au sein d'une génération de titulaires du permis, le taux de motorisation continue de progresser tout au long de la vie. L'impression visuelle de baisse du taux de motorisation

au-delà de quarante-cinq à cinquante ans est fallacieuse, et résulte de la progression des taux de motorisation, pour un âge donné, au fil des générations ;

- L'écart entre deux générations successives augmente entre les premiers et les derniers points d'observation de chaque génération, ce qui renvoie en réalité à un effet de période, qui résulte de la croissance accélérée du taux de motorisation des titulaires du permis que l'on observe dans les années 2000.

Dans l'ensemble, une représentation par âge et cohorte montre donc que les effets de génération sont plus faibles pour l'accès à un véhicule personnel chez les hommes détenteurs du permis que pour le permis de conduire. Les effets de cycle de vie sont par contre déterminants pour le taux de motorisation, avec une forte croissance du taux de motorisation des détenteurs du permis avant trente ans, une relative stabilité jusque vers l'âge de soixante-quinze à quatre-vingts ans, suivie d'un déclin très rapide au-delà. En outre, le profil de motorisation selon la position dans le cycle de vie varie peu d'une génération à l'autre.



Graphiques 40 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par âge, sexe et génération

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOEs-IFSTTAR-ADEME-CCFA

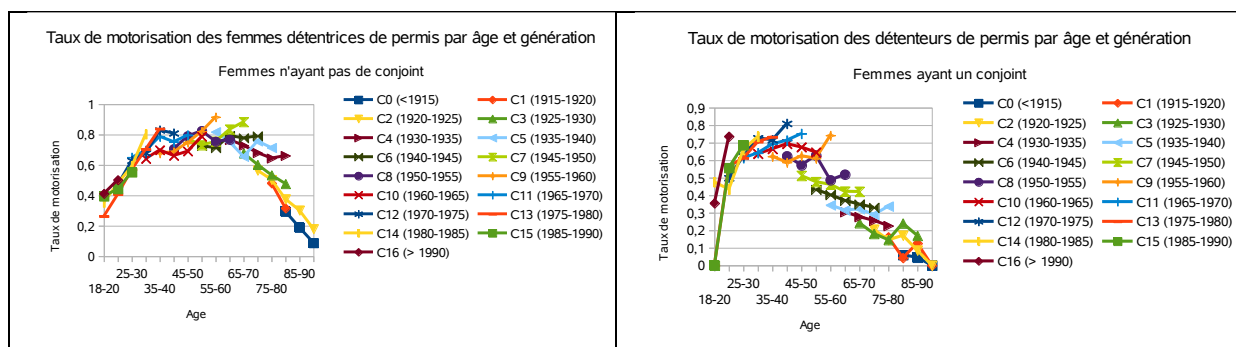
Une analyse par âge et cohorte différenciée selon le sexe montre toutefois que les effets d'âge et de génération sont nettement plus importants pour les femmes que pour les hommes. En première lecture, le taux de motorisation des hommes titulaires du permis augmente très rapidement jusqu'à l'âge de quarante ans, puis plus lentement jusque vers l'âge de soixante-quinze à quatre-vingts ans, après quoi il décroît. Toutefois, une lecture plus attentive montre qu'il ne décroît au-delà de quatre-vingts ans que dans les générations nées avant 1925, alors que ce déclin n'est déjà plus observable dans les générations suivantes. Chez les hommes titulaires du permis, le taux de motorisation continue donc de progresser tout au long de la vie. Cette évolution est corrélée à celle du pouvoir d'achat, et ne semble pas être fortement affectée par la cessation de l'activité professionnelle, ni même par le grand âge.

Les effets de génération sont en outre négligeables. Toutes les générations prennent le relais les unes des autres, lorsqu'on observe leur profil de motorisation en fonction de l'âge. Toutefois, les profils par génération ne coïncident pas exactement : en général, ils coïncident en début de période, mais pas en fin de période, où l'écart entre deux générations successives augmente, en raison d'une augmentation du taux de motorisation en fin de période, qui traduit à nouveau l'effet de période déjà mentionné. On ne peut donc pas réellement mettre en évidence d'effets de génération⁹¹, mais seulement des effets de position dans le cycle de vie – croissance rapide jusqu'à

⁹¹ Contrairement à ce qu'on observe pour l'accès au permis de conduire, on n'observe pas véritablement de délai dans l'accès à un véhicule personnel chez les jeunes adultes qui disposent déjà du permis de conduire au sein des nouvelles générations. C'est donc essentiellement un passage plus tardif des examens du permis de conduire qui contribue à expliquer le « retard » de motorisation dans les nouvelles générations.

quarante ans, progressive ensuite – et un effet de période avec une accélération dans la croissance du taux de motorisation des titulaires du permis après l'an 2000, dans l'ensemble des générations.

Chez les femmes titulaires du permis, les effets de génération et de cycle de vie sont nettement plus prononcés. Dans l'ensemble des générations, le taux de motorisation croît jusque vers l'âge de quarante-cinq ans, puis décroît, contrairement aux hommes. Or, ce pic correspond également à une période où les contraintes de la vie professionnelle et familiale sont plus importantes chez les femmes, non seulement en raison de l'activité professionnelle mais également de la nécessité d'accompagner les enfants scolarisés. De plus, il s'agit également d'une période caractérisée par l'augmentation de la taille du ménage après la naissance d'enfants, qui suscite fréquemment un nouveau projet résidentiel, de nombreuses familles choisissant d'habiter dans les zones périurbaines où sont localisés les logements de plus grande taille. Par la suite, ces contraintes tendent à diminuer, entraînant un recul des besoins d'usage de la voiture. Au-delà de quarante-cinq ans, la baisse du taux de motorisation des détentrices du permis traduit notamment des interruptions de carrière plus fréquentes, qui rendent plus difficile le retour à l'activité au-delà d'un certain âge, des séparations qui sont susceptibles d'entraîner une diminution des ressources financières, et le départ des enfants du foyer parental. L'ensemble de ces évolutions limitent la nécessité mais également les possibilités d'acquisition d'un second véhicule au-delà d'un certain âge. De plus, le taux de motorisation des détentrices du permis n'a cessé de progresser jusqu'à la génération G_{12} (1970-75). Enfin, contrairement à ce qu'on observe pour les hommes, on ne peut mettre en évidence d'accélération notable dans l'évolution du taux de motorisation pour les derniers points d'observation de chaque cohorte.



Graphiques 41 : Taux de motorisation des femmes titulaires du permis par âge et génération selon la situation conjugale

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Cependant, les effets de génération diffèrent selon l'existence d'une vie de famille. Ainsi, ils sont assez faibles chez les femmes n'ayant pas de conjoint, dont les taux de motorisation se sont alignés très tôt sur ceux des hommes, en étant proches de 80 %. En revanche, ils sont nettement plus prononcés chez les femmes vivant en couple, pour lesquelles le taux de motorisation des détentrices du permis, parti d'un niveau quasi-nul dans la génération G_0 (< 1915), atteignait déjà 40 % dans la génération G_6 (1940-45), et 80 % dans la génération G_{12} (1970-75). L'écart de motorisation des détentrices du permis selon le type de ménage décroît donc au fil des générations, pour s'annuler dans les générations nées dans les années 1970. Important dans les générations aujourd'hui à la retraite, il est donc beaucoup plus limité dans les générations encore en activité. Observons de plus que chez les étudiantes, le taux de motorisation des détentrices du permis atteint 41,1 % chez les femmes seules contre 52,2 % chez les femmes vivant en couple, des chiffres très voisins de ceux qu'on observe pour les hommes avec respectivement 43,7 % et 53,4 %.

Dans les nouvelles générations, les comportements ne sont donc plus différenciés selon le genre, l'effet de l'existence d'une vie de couple n'étant plus spécifique aux femmes⁹².

Influence de la situation à l'égard de l'activité professionnelle

L'existence d'une activité professionnelle contribue à expliquer dans une large mesure la variabilité du taux de motorisation en fonction de la position dans le cycle de vie. En effet, les besoins de mobilité sont plus importants chez les actifs que chez les inactifs, en raison des déplacements supplémentaires générés par l'activité professionnelle, qu'il s'agisse des déplacements réguliers vers le lieu de travail ou des déplacements présentant un caractère plus occasionnel dans le cadre de missions professionnelles.



Graphique 42 : Taux de motorisation annuel des détenteurs de permis selon le statut à l'égard de l'activité professionnelle – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

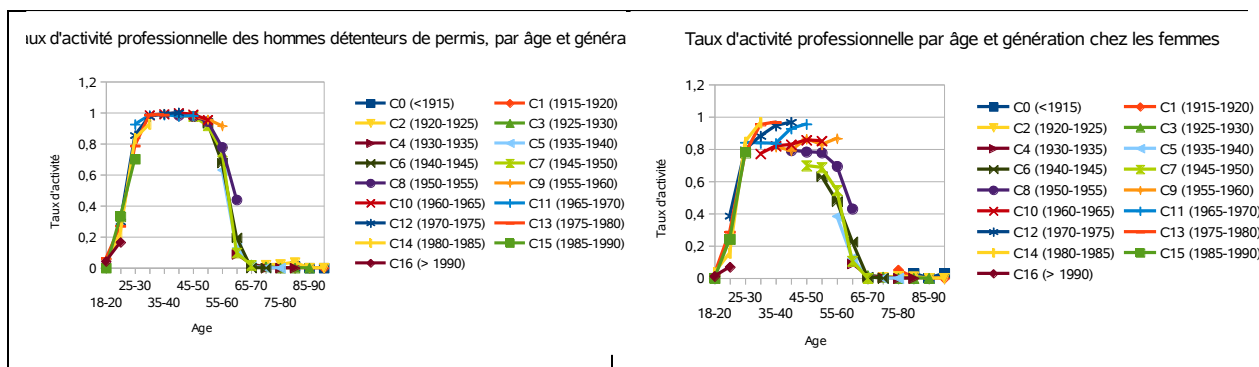
Globalement, le taux de motorisation parmi les titulaires du permis de conduire s'élève à 73,6 % chez les actifs occupés, contre seulement 60,9 % chez les inactifs – dans lesquels on inclut également les chômeurs, contrairement à la définition de l'INSEE, pour laquelle les chômeurs font partie des actifs. La raison pour laquelle on inclut les chômeurs parmi les inactifs réside ici dans le fait qu'on s'intéresse surtout à l'influence des activités génératrices de mobilité. De ce point de vue, la situation des chômeurs ne diffère pas fondamentalement de celle des inactifs au sens de l'INSEE, tels que les retraités.

Lorsqu'on distingue les inactifs par catégorie, le taux de motorisation des titulaires du permis est lui-même très hétérogène entre les retraités, pour lesquels il s'élève à près de 69 %, soit un niveau très proche de celui que l'on observe chez les actifs, et les étudiants et inactifs divers – chômeurs, femmes au foyer – pour lesquels il atteint seulement 44 %. Les retraités actuels, souvent issus de la première vague de la génération du baby-boom, disposent d'un fort pouvoir d'achat et présentent une forte auto-mobilité, en dépit de l'arrivée de la retraite, grâce notamment à leur mobilité de loisirs, qui tend à compenser la disparition des déplacements professionnels (cf.

⁹² Il convient toutefois d'être prudent, car cette étape de la vie précède généralement la maternité qui, en conduisant dans certains cas à la cessation de l'activité professionnelle, peut entraîner une baisse du taux d'activité chez les femmes, avec des répercussions sur leur capacité à se motoriser.

section 1.2.c.1). Cependant, parmi les actifs, le taux de motorisation des détenteurs du permis a progressé de + 6,7 points, contre + 8,7 points chez les inactifs. En revanche, chez les retraités, il est demeuré quasiment stable, progressant seulement de 69 à 71,2 %. L'écart entre actifs et retraités s'est donc creusé entre 1994 et 2010. Contrairement aux retraités, l'inactivité professionnelle, chez les personnes encore en âge de travailler, se traduit par une perte de ressources importante, entraînant des répercussions directes sur leur potentiel de mobilité.

Toutefois, afin de réellement évaluer l'effet de l'activité professionnelle sur le taux d'équipement, il est préférable de comparer les actifs aux autres inactifs – chômeurs, femmes au foyer – plutôt qu'aux retraités, dans la mesure où les personnes actuellement en activité et les personnes retraitées appartiennent à des générations différentes, qui plus est à des périodes différentes de leur cycle de vie. Cette comparaison permet bien de mettre en évidence un effet très important de l'activité professionnelle sur le taux de motorisation chez les titulaires du permis, autour de 30 points. Cet effet tend à demeurer stable, la progression du taux de motorisation des titulaires du permis étant quasiment parallèle entre les actifs et les inactifs encore en âge de travailler. Avec des taux de motorisation désormais très élevés chez les actifs détenteurs du permis (79 %), la disposition d'un véhicule personnel tend à apparaître toujours davantage comme une nécessité pour l'exercice d'une activité professionnelle.



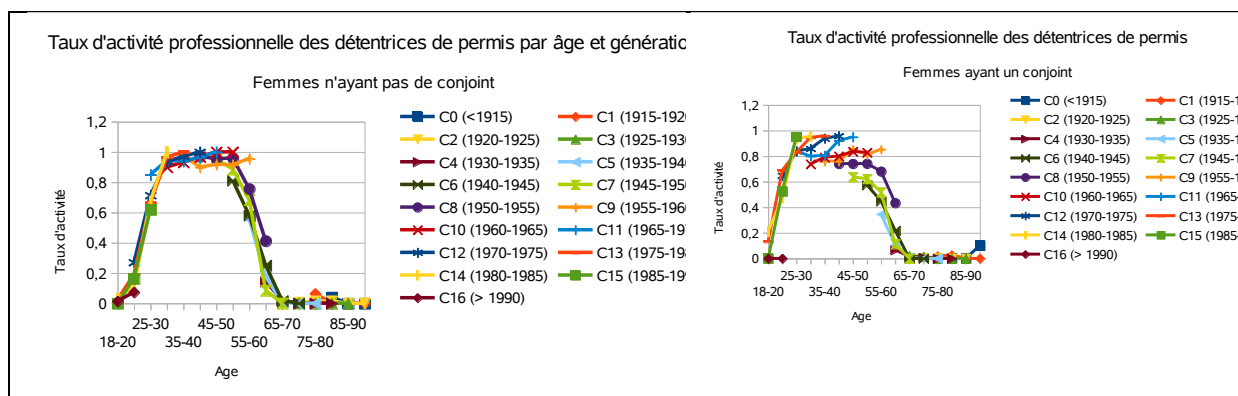
Graphiques 43 : Taux d'activité professionnelle par âge et génération selon le sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Or, le taux d'activité tend à suivre une courbe en cloche en fonction de l'âge, qui atteint un maximum en milieu de cycle de vie, vers l'âge de quarante-cinq ans. Chez les femmes, la participation à l'activité professionnelle peut de plus être interrompue en cas de maternité⁹³, bien que ce schéma tende à se modifier au fil des générations, les interruptions de parcours professionnels étant de plus en plus brèves. De plus, dans les générations plus anciennes, l'existence d'une vie conjugale dispensait généralement les femmes d'entrer sur le marché du travail. Après la seconde guerre mondiale, le développement de l'emploi tertiaire a incité les femmes à entrer de façon massive sur le marché du travail, de sorte que l'existence d'une vie de famille est devenue de moins en moins un frein à l'exercice d'une activité professionnelle, et le statut de femme au foyer de plus en plus rare.

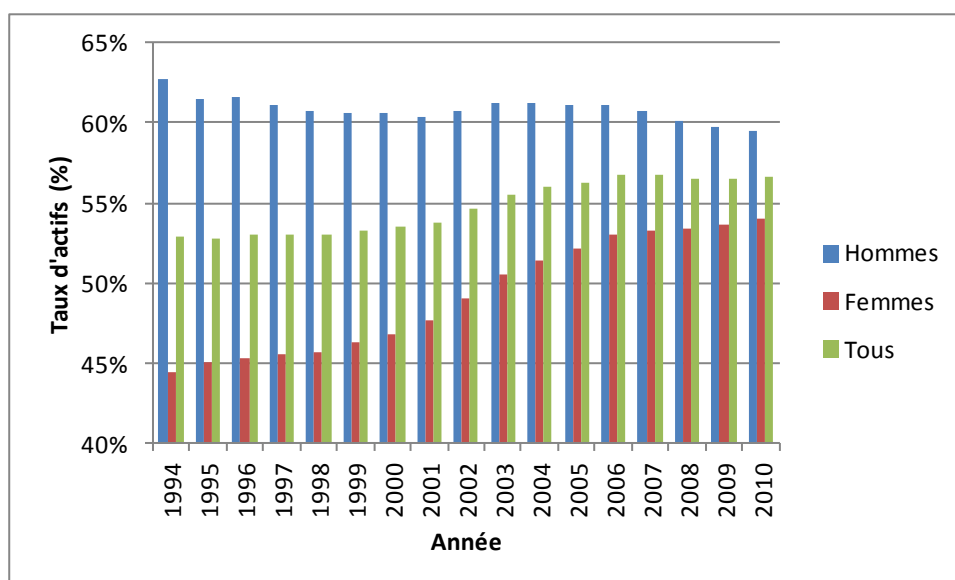
⁹³ Le taux d'activité des femmes décline rapidement au-delà de cinquante ans. De plus, dans les générations nées avant les années 1960, le pic d'activité vers l'âge de trente-cinq à quarante ans se situait à un niveau nettement inférieur à celui qu'on observait chez les hommes, atteignant respectivement 80 % et 100 %. Les interruptions longues de parcours professionnels tendent toutefois à devenir nettement plus rares dans les générations suivantes, une évolution favorisée par l'extension des dispositifs de congés parentaux.

Le taux d'activité professionnelle des femmes a donc progressé chez les femmes jusqu'aux générations nées dans les années 1970, entraînant une augmentation de leurs besoins de mobilité mais également une augmentation des ressources financières des ménages du fait de l'apport d'un second revenu dans les familles, une évolution qui a favorisé l'essor du multi-équipement. Au contraire, on voit que le taux d'activité professionnelle chez les hommes n'a guère évolué d'une génération à l'autre, l'ensemble des profils d'activité en fonction de l'âge par génération ayant tendance à se confondre.



Graphiques 44 : Taux d'activité professionnelle des femmes selon l'existence d'une vie de couple
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

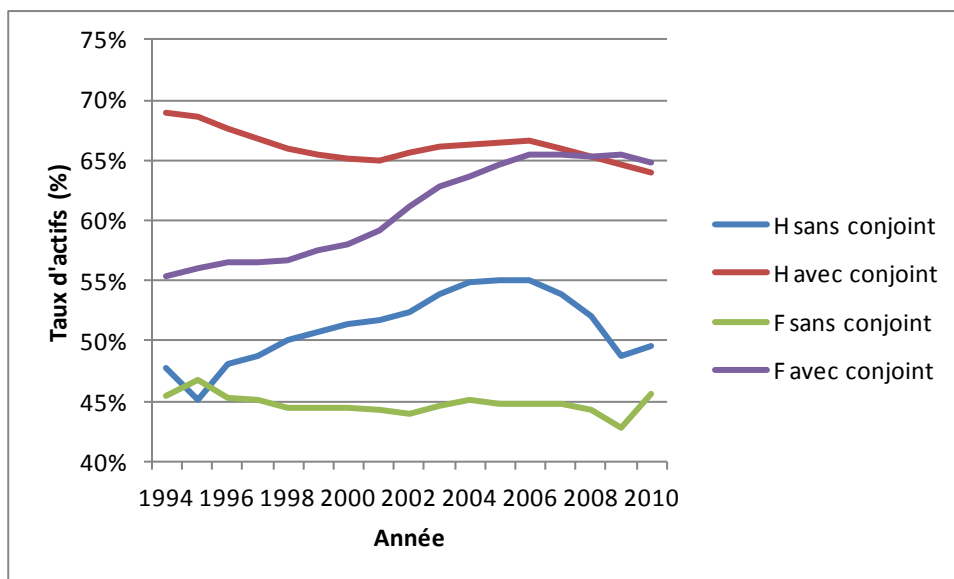
L'évolution du taux d'activité des femmes diffère toutefois selon le type de ménage auquel elles appartiennent. Ainsi qu'on peut le voir sur le graphique ci-dessus, la progression du taux d'activité concerne surtout les femmes vivant en couple, tandis que parmi les femmes qui vivent seules, le taux d'activité était déjà aligné sur celui des hommes dans les générations nées pendant la seconde guerre mondiale. L'existence d'une vie de couple exerce donc une influence indirecte sur le taux de motorisation, à travers l'effet de la vie conjugale sur le taux de participation à l'activité professionnelle, qui a lui-même évolué au fil des générations.



Graphique 45 : Taux d'actifs par sexe et année – Lissage sur cinq ans
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'augmentation continue du taux d'activité des femmes d'une génération à l'autre permet de rendre compte, par des effets de cohorte, de l'augmentation globale du taux d'activité féminin. Ainsi, tandis que le taux d'activité masculin a légèrement décliné pendant la période d'observation,

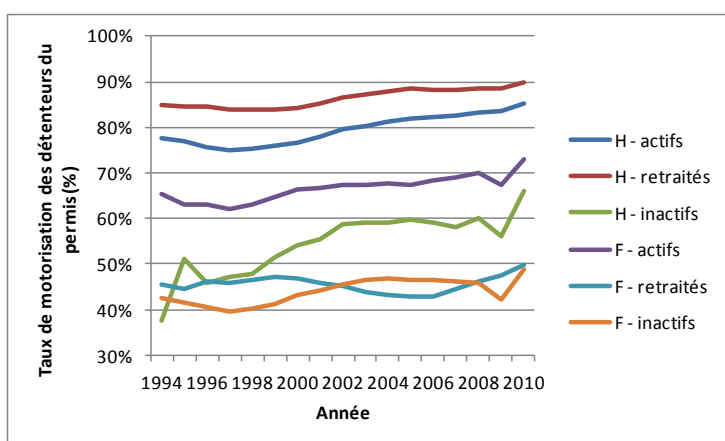
de 62,7 à 59,5 %, celui des femmes a rapidement progressé, de 44,4 à 54,0 %, divisant par trois l'écart de taux d'activité selon le genre, qui est passé de 18 à 6 points. L'alignement de l'activité des femmes sur celle des hommes constitue donc un moteur puissant de la diffusion de l'automobile.



Graphique 46 : Taux d'activité professionnelle des détenteurs et détentrices de permis au regard de la situation conjugale – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'évolution des taux d'activité selon le genre diffère toutefois selon l'existence d'une vie de couple. Chez les hommes, le taux d'activité est en légère diminution sur l'ensemble de la période, qu'ils aient ou non un conjoint. En revanche, le taux d'activité des femmes évolue de manière différenciée selon l'existence d'une vie de famille : ainsi, déjà très proche de celui des hommes seuls en 1994, il n'a guère évolué chez les femmes seules au cours de la période d'observation, tandis que le taux d'activité des femmes vivant en couple a augmenté d'environ 10 points jusqu'à rattraper celui de leurs conjoints, une proportion de plus en plus faible d'entre elles renonçant à l'exercice d'une activité professionnelle.



Graphique 47 : Taux de motorisation des détenteurs et détentrices de permis en fonction du statut vis-à-vis de l'activité et du sexe – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Toutefois, l'existence d'activité professionnelle n'explique pas à elle seule l'écart de motorisation entre hommes et femmes parmi les titulaires du permis de conduire. En effet, les écarts persistent même lorsqu'on neutralise l'effet de l'activité professionnelle. Chez les actifs par exemple, la

proportion d'utilisatrices principales s'élève à 66,9 % parmi les détentrices du permis, contre 79,5 % chez les hommes. Les écarts entre hommes et femmes sont du même ordre de grandeur pour les inactifs divers – étudiants, chômeurs, femmes au foyer - avec respectivement 43,4 et 53,8 % d'utilisateurs principaux parmi les titulaires du permis, soit un écart d'environ 10 points. C'est toutefois chez les retraités que cet écart est le plus important, ce qui s'explique par les effets de génération, les femmes n'ayant eu qu'un accès restreint à un véhicule personnel dans ces générations, pour lesquelles la conduite demeurait une prérogative masculine. L'évolution des différences d'accès à l'automobile entre hommes et femmes au fil des générations s'explique donc aussi en partie par l'évolution des mentalités. De plus, l'automobile n'était pas encore conçue comme un équipement individuel, mais plutôt comme un bien au niveau du ménage : compte tenu des mentalités de l'époque, la priorité dans l'accès au véhicule unique du ménage était alors plutôt accordée au chef de ménage.

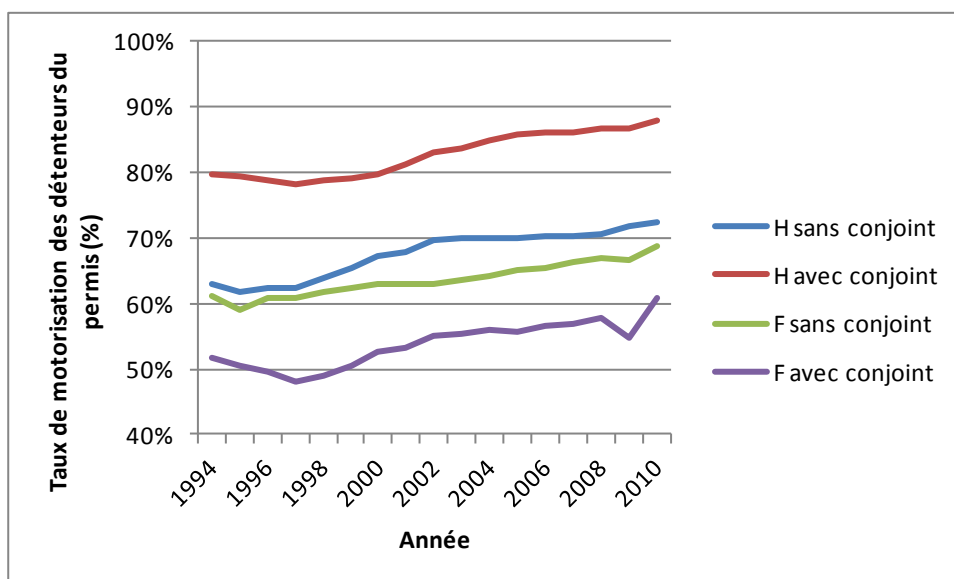
On observe en outre que chez les hommes, le taux de motorisation des détenteurs du permis est plus élevé chez les retraités que chez les actifs, ce qui pourrait refléter des situations économiques plus hétérogènes et précaires dans les nouvelles générations d'hommes actifs. On constate l'inverse chez les femmes titulaires du permis, ce qui s'explique à la fois par l'évolution des mentalités, et par des différences de parcours : les femmes aujourd'hui à la retraite ont dans l'ensemble bénéficié de carrières moins avantageuses et moins continues⁹⁴, à la fois que leurs partenaires masculins des mêmes générations, et que les femmes des générations actuellement en activité, avec des répercussions sur les niveaux des pensions de retraite.

Influence de l'existence d'une vie de couple

Parmi les facteurs susceptibles d'expliquer les écarts de motorisation, en particulier chez les femmes, l'existence d'une vie de famille joue un rôle essentiel. On vient de montrer qu'elle a longtemps exercé une influence sur l'exercice d'une activité professionnelle chez les femmes. L'existence d'une vie de famille fut longtemps considérée comme incompatible avec l'exercice d'une activité professionnelle, du moins dans les générations nées avant-guerre. En outre, la situation de femme mariée dispensait généralement d'exercer une activité professionnelle, contrairement aux femmes seules qui étaient contraintes d'exercer une activité rémunérée afin de pourvoir à leurs besoins. Avec l'évolution des mentalités et le besoin d'émancipation des femmes, mais également sous la pression de l'élévation du coût de la vie et de la nécessité de disposer d'un second revenu dans le ménage, le taux d'activité des femmes a toutefois continuellement progressé jusqu'aux générations nées au début des années 1970. La progression du taux d'activité a elle-même entraîné l'augmentation du taux de motorisation chez les femmes détentrices du permis, la disposition d'un véhicule personnel étant de plus en plus nécessaire pour assurer les déplacements vers le travail. En raison des effets de cohorte traduisant l'évolution des mentalités et des modes de vie, l'effet de l'existence d'une vie de couple sur la propension à se motoriser, au lieu d'être constant, tend à évoluer au fil des générations⁹⁵.

⁹⁴ En raison notamment des interruptions de parcours professionnels liées à la maternité.

⁹⁵ Pour analyser l'effet de l'existence d'une vie de couple, il est préalablement nécessaire de déterminer si l'adulte vit en couple ou s'il vit seul, ainsi que, le cas échéant, l'identité de son conjoint. Pour cela, on a utilisé la règle suivante : le premier individu référencé du ménage est identifié comme le chef de ménage : 87,7 % des hommes adultes sont identifiés comme chef du ménage, contre seulement 23,2 % des femmes, qui sont dans 69,2 % des cas identifiées comme étant le second individu du ménage. Dans le cas où l'individu est identifié comme chef du ménage, le second individu du ménage, s'il existe, est supposé être le conjoint, et réciproquement. Dans le cas où le rang de l'individu est supérieur ou égal à trois, on suppose qu'il s'agit d'un enfant majeur résidant au foyer parental, et donc qu'il n'a pas de conjoint vivant au foyer. Cette règle d'affectation peut conduire à un certain pourcentage d'erreurs quant aux situations de cohabitation, en particulier dans les cas de familles monoparentales hébergeant un enfant majeur, qui



Graphique 48 : Taux de motorisation des détenteurs et détentrices de permis au regard de la situation conjugale – Lissage sur cinq ans

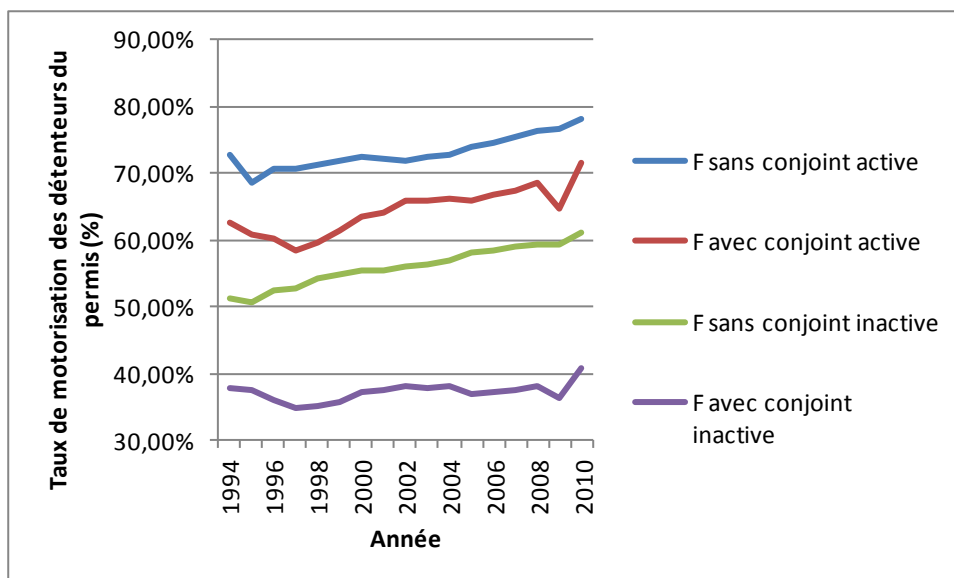
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

La vie de couple exerce un effet inverse sur la proportion d'utilisateurs principaux chez les détenteurs du permis selon le genre : celle-ci passe ainsi de 67,7 % parmi les hommes vivant seuls à 82,8 % parmi les hommes vivant en couple, alors qu'à l'inverse, elle décroît de 63,6 % parmi les femmes vivant seules à 54,2 % parmi les femmes vivant en couple. Elle est donc très proche entre les hommes et les femmes vivant seuls, alors que l'écart selon le genre s'élève à 28 points chez les personnes qui vivent en couple. Ces résultats s'expliquent partiellement par la participation différenciée à l'activité professionnelle selon le genre et la situation de famille. La contrainte de motorisation est en effet identique chez les personnes vivant seules, qui sont également contraintes à l'exercice d'une activité professionnelle pour pourvoir à leurs besoins. En revanche, dans le cadre d'une vie de couple, certaines femmes renonceraient à l'exercice d'une activité professionnelle, entraînant des arbitrages plus favorables au chef de ménage dans l'attribution des véhicules du ménage. Cependant, le niveau plus élevé de motorisation des hommes dans le cadre d'une vie de couple semble également traduire une fonction collective du véhicule principal du ménage, dont les hommes sont le plus souvent utilisateurs principaux, de sorte qu'il serait sans doute trop rapide de lire l'écart apparent de motorisation entre hommes et femmes exclusivement en termes d'inégalités de genre.

Toutefois, l'existence d'activité professionnelle ne suffit pas à expliquer les différences de motorisation selon la situation familiale chez les femmes. Ainsi, la progression du taux de motorisation chez les femmes titulaires du permis s'observe aussi bien parmi les femmes actives que parmi les femmes inactives, et aussi bien parmi les femmes ayant un conjoint que parmi les femmes vivant seules, traduisant sans doute l'existence d'un désir plus global d'autonomie et d'émancipation, au-delà des contraintes de la vie quotidienne⁹⁶.

devraient néanmoins être suffisamment minoritaires pour ne pas trop pénaliser l'analyse.

⁹⁶ Qui ne se limitent pas elles-mêmes à l'exercice d'une activité professionnelle. Ainsi, les femmes assurent par exemple la plus grande partie des déplacements pour accompagner les enfants à l'école.



Graphique 49 : Taux de motorisation des détentrices de permis au regard de la situation conjugale et de l'existence d'activité professionnelle – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

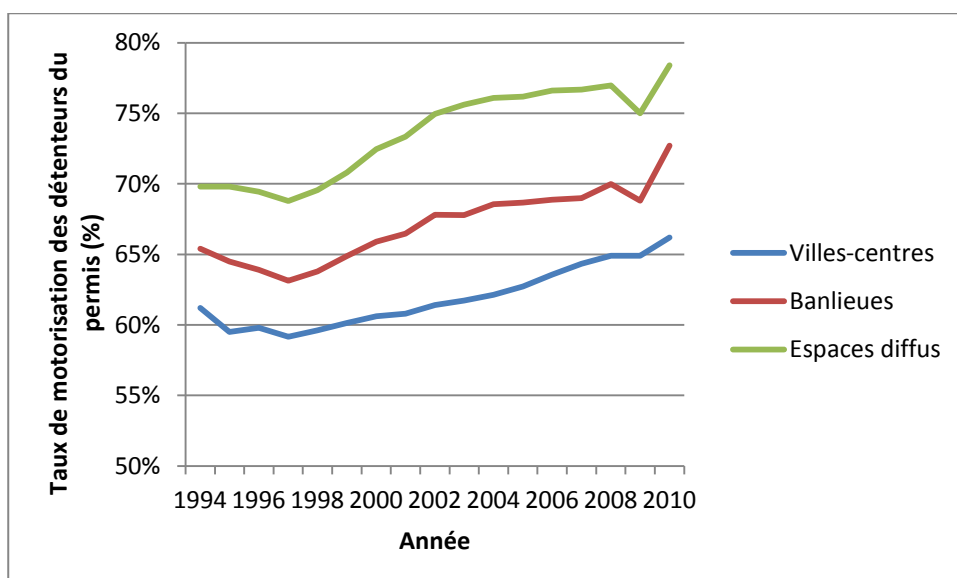
Parmi les femmes vivant seules, elle a même été plus importante pour les femmes inactives que pour les femmes actives. Par contre, chez les femmes ayant un conjoint, le taux de motorisation des détentrices du permis n'a progressé que de trois points chez les femmes inactives, contre neuf points chez les femmes actives.

Influence de la catégorie socioprofessionnelle

La catégorie socioprofessionnelle exerce également une influence sur les besoins de mobilité, et donc indirectement sur le taux de motorisation. Une activité de cadre, notamment, est souvent génératrice de fréquents déplacements professionnels ou de déplacements plus éloignés, y compris vers le lieu de travail principal en raison d'une forte mobilité professionnelle des cadres, qui peut entraîner dans certains cas une forte dissociation entre le lieu de travail et le lieu de résidence, et donc des besoins de motorisation plus élevés. L'effet de la catégorie socioprofessionnelle n'est donc pas réductible à celui du niveau de vie, même si ces deux dimensions sont corrélées.

Effets de localisation

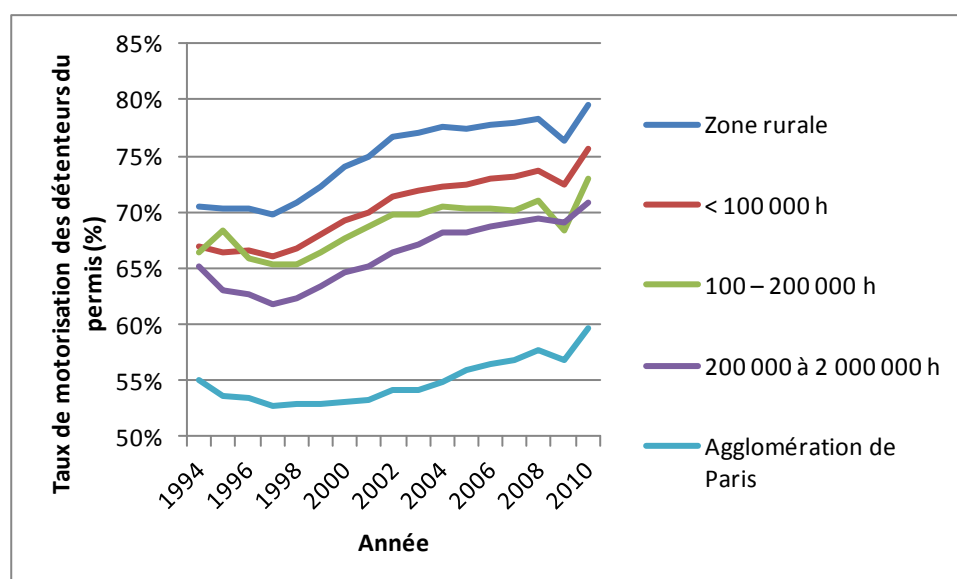
En dehors des facteurs sociodémographiques, les caractéristiques de l'environnement bâti, ou les formes urbaines, exercent une influence à la fois sur le niveau global des besoins de mobilité, et sur le moyen de transport privilégié pour les assurer. L'élargissement des bassins d'habitat, l'augmentation des distances entre le lieu de résidence et les différents lieux d'activité dont le lieu de travail, tendent à accroître la place de la voiture au fil des générations, et au cours du temps avec la succession des générations.



Graphique 50 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par année et type de zone – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Ainsi, le taux de motorisation des détenteurs du permis varie de 61,9 % chez les résidents des villes-centres à 73,9 % chez les habitants des zones peu denses. De plus, cet écart de motorisation s'est plutôt accru, avec une progression de 61,2 à 66,2 % dans les villes-centres, contre 69,8 à 78,4 % dans les espaces d'urbanisation diffuse.

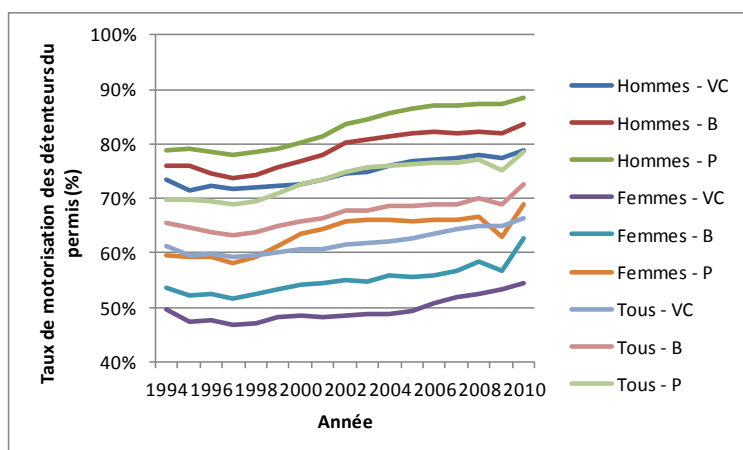


Graphique 51 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par année et taille d'agglomération – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Cette accentuation des contrastes tend à être confirmée lorsqu'on raisonne non plus à partir de la position dans l'aire urbaine mais à partir de la taille d'agglomération : ainsi, le taux de motorisation des détenteurs du permis décroît de 75 % dans les communes de l'espace à dominante rurale à 55 % dans l'agglomération parisienne, et a davantage augmenté dans les communes de l'espace à dominante rurale et dans les petites agglomérations (< 100 000 h) que dans les grandes agglomérations de province (> 200 000 h) et l'agglomération parisienne, avec des progressions respectives de + 9,1 points, + 8,7 points, + 5,8 points et + 4,7 points.

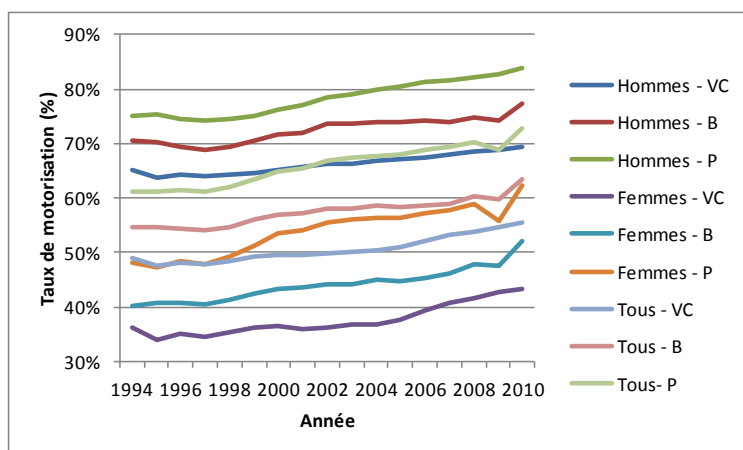
Le différentiel de croissance entre zones est donc plus marqué pour l'équipement automobile que pour l'accès au permis de conduire, désormais entré en phase de saturation, et donc caractérisé par une certaine stabilisation de l'hétérogénéité interzonale. Les écarts entre les zones sont dans l'ensemble stables dans la seconde moitié des années 1990, où les taux de motorisation des détenteurs du permis semblaient s'être temporairement stabilisés. Dans les années 1990, la seule croissance du taux de motorisation est celle qui est induite par la diffusion du permis de conduire. Cependant, avec la reprise des achats de véhicules dans les années 2000, stimulée par la recherche d'économies à long terme, les écarts entre zones ont à nouveau tendance à s'accroître.



Graphique 52 : Taux annuel de motorisation des détenteurs de permis par sexe et type de zone de résidence (%) – Lissage sur cinq ans

Lecture : VC=Villes-centres ; B=Banlieues ; P=Périphéries (Communes périurbaines + Espace à dominante rurale)

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA



Graphique 53 : Taux annuel de motorisation par sexe et type de zone de résidence (%) – Lissage sur cinq ans

Lecture : VC=Villes-centres ; B=Banlieues ; P=Périphéries (Communes périurbaines + Espace à dominante rurale)

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Pendant la décennie 2000, la croissance de la motorisation parmi les détenteurs du permis est relativement homogène entre les zones chez les hommes et régulière sur l'ensemble de la décennie. Chez les femmes au contraire, la croissance du taux d'équipement est plus importante en début de décennie dans les zones d'urbanisation diffuse que dans les agglomérations, celles-ci tendant à rattraper partiellement leur retard en fin de décennie. Globalement, lorsqu'on combine

les évolutions du taux de détenteurs du permis avec celles des taux d'équipement parmi les détenteurs du permis, les écarts de motorisation entre zones tendent à s'accroître au fil du temps. Cependant, ce sont les femmes qui contribuent le plus à l'accroissement des écarts entre les zones.

Ces analyses permettent de revenir à une question laissée en suspens dans la section I.2.c.3 sur l'évolution des déterminants de la mobilité, dans laquelle on avait constaté le renforcement des effets de localisation, sans véritablement pouvoir les expliquer à ce stade. En premier lieu, observons que le simple processus de diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel entraîne une augmentation de l'hétérogénéité des comportements, dans la mesure où seuls les adultes ayant le permis sont susceptibles de manifester des différences de comportements de motorisation, de même que seuls les adultes motorisés sont susceptibles de manifester des différences de comportements d'usage des véhicules. D'autre part, les écarts de taux de motorisation entre agglomérations et espaces diffus chez les titulaires du permis tendent eux-mêmes à augmenter au cours du temps.

Cela s'explique par le fait que ce sont surtout les femmes, et en particulier les femmes vivant en couple, qui contribuent tout à la fois à l'augmentation des taux de motorisation, et au renforcement du contraste entre les zones. Or, la population des zones périurbaines comporte une proportion majoritaire de familles, nettement plus importante que dans les agglomérations où tendent plutôt à être concentrées les personnes seules. De plus, ce contraste dans le type de ménages résidents entre les zones a lui-même plutôt tendance à s'accroître au cours du temps, avec l'arrivée permanente de nouveaux ménages périurbains, qui tend de plus⁹⁷ à s'accroître dans les périodes de forte augmentation des prix immobiliers, comme dans les années 2000. Ainsi, la proportion d'adultes vivant en couple parmi les résidents des espaces d'urbanisation diffuse a augmenté de 70,3 % à 80,2 % entre 1997 et 2009, alors qu'elle est demeurée stationnaire dans les agglomérations, aux alentours de 65 % parmi les résidents des banlieues et 50 à 55 % parmi les résidents des villes-centres. Ce renforcement des contrastes dans la composition sociodémographique des différentes zones, associé à la progression plus importante du taux d'activité des femmes ayant une vie familiale, détermine une croissance plus élevée du taux d'activité⁹⁸ des femmes résidant au sein des espaces d'urbanisation diffuse, qui a progressé de 43,2 à 52,2 %, contre des diminutions respectives de 50,7 à 32,5 % dans les villes-centres, et de 48,3 à 34,9 % dans les banlieues.

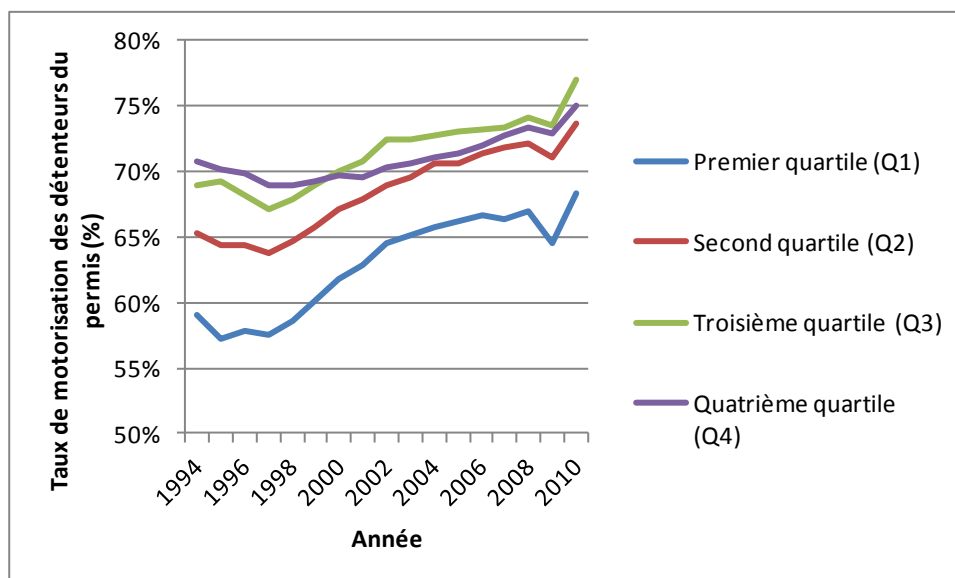
Toutefois, d'après les enquêtes annuelles de recensement (EAR) conduites dans le cadre du dispositif de recensement rénové, il semble que le profil des « nouveaux arrivants » dans le périurbain – communes peu denses situées au voisinage de communes denses - soit en train de changer depuis 2006, avec proportionnellement moins de ménages constitués de deux adultes et plus, et davantage de ménages ne comprenant qu'un seul adulte. De plus, la crise économique semble avoir stoppé au moins temporairement la tendance à la croissance du multi-équipement depuis 2008 (*Madre et al., 2015*).

⁹⁷ Compte tenu de prix fonciers plus abordables dans les communes périurbaines par rapport aux zones centrales.

⁹⁸ Le taux d'activité est ici donné en proportion du nombre d'actifs par rapport à l'ensemble de la population, et non seulement par rapport à la population en âge de travailler. Il reflète donc en partie des évolutions dans le pourcentage de population inactive, également hétérogènes entre les zones, avec un renforcement du poids des retraités au sein des zones urbaines. Le desserrement d'une partie de l'emploi vers les zones peu denses contribue également à ces tendances.

Effet du revenu

Par ailleurs, des ressources financières limitées peuvent constituer une entrave, limitant la capacité des ménages à se motoriser.



Graphique 54 : Evolutions annuelles du taux de motorisation des détenteurs du permis par quartile – Lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

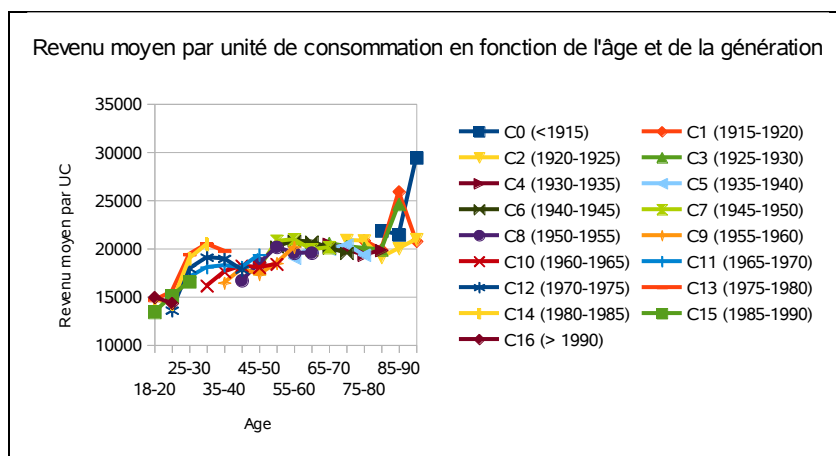
La proportion d'utilisateurs principaux parmi les détenteurs du permis est logiquement croissante avec le niveau de vie, passant de 63,2 à 71 % entre le quartile inférieur et le quartile supérieur de revenu par unité de consommation. Son rythme de progression est très homogène dans les trois quartiles inférieurs, de l'ordre de huit à neuf points pour l'ensemble de la période. Il est plus lent dans le quartile supérieur (+ 4,4 points), indiquant un début de saturation. Les inégalités sociales d'accès à un véhicule personnel chez les détenteurs du permis ont donc plutôt tendance à se réduire, avec des taux d'équipement des détenteurs du permis désormais homogènes dans les trois quartiles supérieurs, seul le dernier quartile demeurant légèrement en retrait mais continuant de rattraper son retard.

Le taux de 75 % d'utilisateurs principaux parmi les titulaires du permis appartenant aux trois quartiles supérieurs permet de supposer que la diffusion de l'automobile y est assez proche de la saturation. On observe en outre que dans le troisième quartile, il a dépassé celui du quartile supérieur. Il est donc vraisemblable que les seuils de saturation diffèrent d'un quartile à l'autre en fonction de leurs conditions d'existence : les ménages aisés, habitant plus fréquemment au sein des zones urbaines denses et disposant d'alternatives à la voiture, peuvent plus facilement s'en passer. A l'inverse, les quartiles intermédiaires Q₂ et Q₃, qui correspondent aux classes moyennes, résident plus souvent dans les zones périurbaines, de sorte qu'on peut s'attendre à un seuil de saturation plus élevé dans ces groupes, en dépit de ressources financières moins importantes.

Globalement, l'évolution des écarts de motorisation selon le niveau de vie indique plutôt une tendance au recul des inégalités sociales, l'obstacle le plus important à la mobilité semblant surtout se situer au niveau de l'accès au permis de conduire. Il se peut aussi que les taux de détenteurs du permis observés endogénéisent partiellement les inégalités sociales résultant des coûts de motorisation et d'usage des véhicules, qui pourraient dissuader certaines personnes de condition modeste de passer le permis de conduire, par anticipation des coûts futurs. Les

moindres inégalités selon le revenu observées chez les détenteurs du permis pourraient alors traduire une auto-sélection des individus décidés à se motoriser dès le stade de la décision de passer les examens du permis de conduire.

L'effet de période précédemment mentionné n'est pas homogène selon le niveau de vie relatif. La rupture de pente dans l'augmentation de la proportion d'adultes disposant d'un accès à un véhicule personnel parmi les détenteurs du permis à partir des années 2000 est plus sensible dans le quartile inférieur, ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'une évolution principalement déterminée par des motivations économiques, puisque l'incitation à évoluer vers des motorisations plus économes est plus forte chez les ménages modestes. Avec des taux de motorisation jusque-là nettement en retrait, les ménages modestes semblent ainsi mettre à profit l'augmentation des prix des carburants pour anticiper certaines décisions d'achat et rattraper partiellement leur retard de motorisation dans les années 2000. Toutefois, on observe que ces décisions concernent surtout le véhicule principal du ménage, dont l'homme est le plus souvent l'utilisateur principal. A l'inverse, le taux de motorisation des femmes dans les ménages modestes s'est stabilisé, voire tend à baisser légèrement depuis l'an 2000. Il semble donc qu'au sein des ménages modestes, le choc sur les prix de l'énergie ait suscité un recentrage des décisions d'équipement sur le véhicule principal, donnant un coup d'arrêt au moins temporaire au processus d'individualisation de l'équipement automobile chez les plus pauvres. Dans le cadre de la spécification d'un modèle de projection de la demande, une possibilité pour prendre en compte la sensibilité variable des choix de motorisation aux variations de prix des carburants selon le niveau de vie, pourrait consister à estimer des élasticités hétérogènes par quartile.



Graphique 55 : Niveau de vie moyen selon la génération et la position dans le cycle de vie

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'évolution du niveau de vie avec l'avancée en âge permet également d'expliquer en partie celle du taux de motorisation, en particulier chez les hommes. Le niveau de vie est dans l'ensemble très peu différencié entre les générations, sauf dans les générations nées après 1965, pour lesquelles il tend à augmenter fortement dans la portion initiale du cycle de vie, avant de baisser au-delà de trente-cinq ans. Dans les générations antérieures, il augmente jusque vers l'âge de cinquante-cinq ans, puis atteint un plateau ou diminue légèrement. Les entraves financières à l'acquisition d'un véhicule tendent donc à se relâcher avec l'avancée en âge. L'évolution du niveau de vie diffère toutefois selon la génération et la catégorie socioprofessionnelle - croissante pour les cadres, en cloche pour les ouvriers. Dans les générations nées avant 1955, il progresse jusque vers l'âge de cinquante à cinquante-cinq ans, puis se stabilise. Dans la génération 1955-60, cette progression se poursuit jusqu'à l'âge de soixante ans. Dans les générations nées après 1970, il atteint un maximum vers l'âge de trente-cinq à quarante ans, avant de décroître. L'évolution du revenu en fonction de

l'âge dans les générations futures dépendra aussi des conditions de versement des pensions. L'allongement des durées de cotisation légales, associées à des études de plus en plus longues et à des périodes d'emploi de plus en plus brèves, entraînera sans doute une baisse des niveaux de pensions, et donc aussi de motorisation, dans les futures générations de retraités.

L'existence de handicaps et l'effet du grand âge

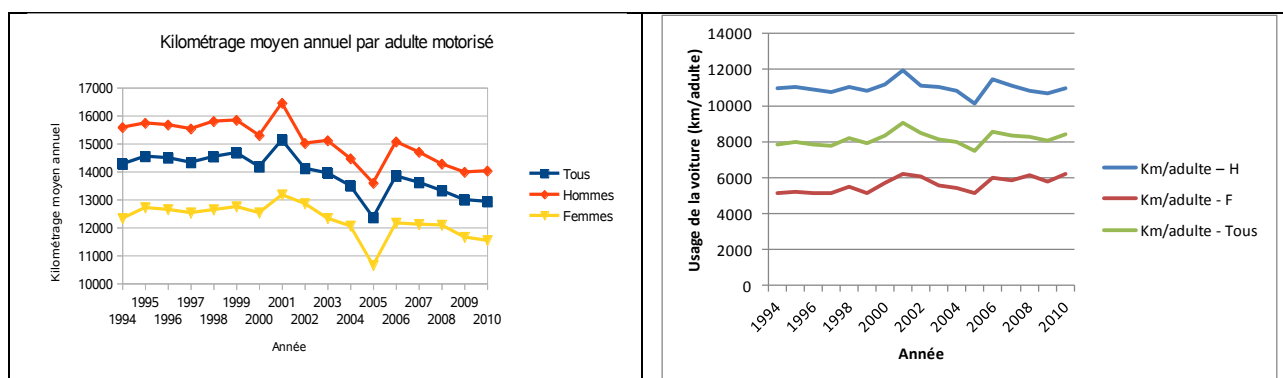
D'autres entraves à la motorisation des détenteurs du permis peuvent être constituées par des handicaps physiques, ou encore par les effets du grand âge, qui résultent dans une perte de facultés, visuelles et auditives notamment. Au final, en raison de l'existence d'entraves persistantes à la diffusion de l'automobile – accès au permis de conduire, ressources financières insuffisantes, effet du grand âge – ainsi que de limites aux besoins, on peut supposer que la saturation sera atteinte bien avant que chaque individu adulte soit utilisateur principal d'un véhicule. Les seuils de saturation seront sans doute variables en fonction :

- Du lieu de résidence, auquel est corrélé le degré de dépendance automobile des ménages ;
- De l'existence d'une activité professionnelle, dont dépend notamment le choix d'un recours privilégié à la voiture, compte tenu des avantages qu'elle offre en termes de vitesse et de flexibilité des déplacements ;
- De l'existence de handicaps susceptibles d'entraver la conduite.

III.1.c.3) Les déterminants de l'usage des véhicules chez les utilisateurs principaux

Enfin, nous étudions les déterminants de l'usage des véhicules chez les adultes ayant accès à un véhicule personnel. Les variables prises en compte sont, comme précédemment, le sexe, la génération, l'âge, l'existence d'une activité professionnelle, la situation familiale, le niveau de vie, le lieu de résidence. On y ajoute également l'effet des prix des carburants, que l'on sait être influent sur l'usage des véhicules. Celui-ci peut être pris en compte de deux manières différentes, soit au travers d'un indicateur de prix à la pompe (en €/l), soit par le moyen d'un indicateur de coût d'usage des véhicules (en €/km), qui tient compte également du type de motorisation et de la consommation unitaire des véhicules.

Effets de sexe, de génération et d'âge



Graphiques 56 : Kilométrage moyen annuel par adulte et par adulte motorisé, globalement et en fonction du sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Dans les graphiques 56, on a représenté les évolutions respectives du kilométrage moyen par adulte et du kilométrage moyen par utilisateur principal d'un véhicule, globalement ainsi qu'en fonction du genre. Hommes et femmes confondus, le kilométrage moyen par adulte - motorisé ou non – atteint 8 174 km annuels pour l'ensemble de la période d'observation. Si on ne conserve que les adultes motorisés, il s'élève à 14 118 km. Les niveaux d'utilisation des véhicules diffèrent toutefois entre les hommes et les femmes. Le kilométrage moyen parcouru par un homme adulte est ainsi estimé à un peu plus de 11 000 km, contre seulement 5 582 km, soit la moitié environ, chez les femmes. Si on restreint l'analyse aux seuls adultes motorisés, le kilométrage généré s'élève à presque 15 300 km pour les hommes, contre un peu plus de 12 400 km pour les femmes. Lorsqu'on contrôle la motorisation, le kilométrage parcouru par les femmes n'est donc plus inférieur que d'un quart au kilométrage parcouru par les hommes. L'écart de kilométrage par adulte entre hommes et femmes s'explique donc environ pour moitié par la différence d'équipement et pour moitié par l'intensité d'usage des véhicules.

Le kilométrage moyen par adulte a progressé de 7 868 à 8 417 km entre 1994 et 2010. Toutefois, si on ne considère que le kilométrage moyen par utilisateur principal d'un véhicule, celui-ci demeure approximativement stable jusqu'en l'an 2000, aux alentours de 14 500 km, avec toutefois une pointe à plus de 15 000 km en 2001, qui résulte de la retombée temporaire des prix des carburants consécutive à leur envolée en l'an 2000, avant de décliner pour atteindre 12 930 km en 2010, quoi qu'avec des fluctuations intermédiaires. Il baisse ainsi très fortement de 2001 à 2005, repart à la hausse en 2006, puis baisse à nouveau jusqu'en 2010, passant d'environ 14 000 à 13 000 km. Les consommations et budgets annuels moyens de carburants suivent les mêmes fluctuations. Lorsqu'on décompose entièrement le processus de l'auto-mobilité, le plafonnement des années 2000 provient donc de l'utilisation des véhicules, mais pas des niveaux d'équipement qui ont dans l'ensemble poursuivi leur progression au cours de cette période, au moins jusqu'en 2006.

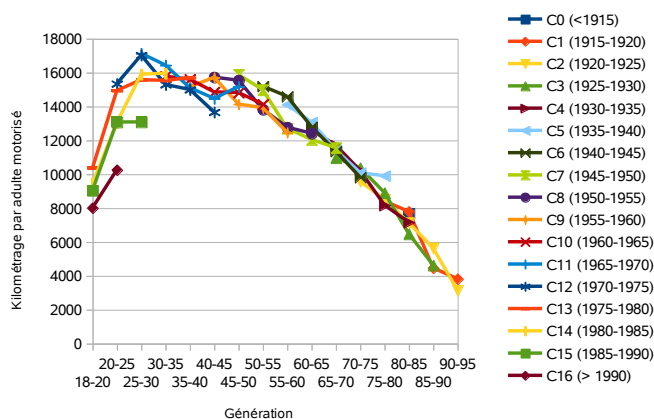
Chez les hommes, le trafic par adulte est demeuré sur une tendance stationnaire autour de 11 000 km, à l'exception d'une forte pointe à 12 000 km en 2001, en dépit d'une croissance rapide du taux d'équipement dans les années 2000, le déclin de l'utilisation des véhicules par les hommes motorisés ayant compensé exactement l'augmentation de la proportion d'hommes motorisés. L'usage moyen des véhicules chez les hommes utilisateurs principaux d'un véhicule a ainsi baissé de plus de 2 400 km entre 2001 et 2010. Chez les femmes, le kilométrage moyen par adulte est orienté à la hausse, en raison de la croissance continue du taux d'équipement, qui n'a pas encore atteint son niveau de saturation. Il augmente de 5 130 à 6 210 km entre 1994 et 2010, soit une croissance de plus de 20 %, l'essentiel de cette augmentation ayant lieu antérieurement à l'an 2000. Il est depuis lors sur une tendance stationnaire. Comme pour les hommes, le kilométrage moyen par femme utilisatrice principale d'un véhicule est relativement stable jusqu'à l'an 2000, puis décroît à partir de 2001, d'environ 1 600 km en l'espace d'une décennie. Cette baisse est toutefois inférieure à celle qu'on observe chez les hommes, au moins en termes absolus⁹⁹.

On a montré que la diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel se poursuivait encore à un rythme soutenu chez les femmes. Compte tenu de possibles réserves de progression du taux d'équipement, une poursuite de la croissance du kilométrage moyen par femme adulte n'est donc pas à exclure. Tout dépendra, en pratique, de l'évolution du statut de la voiture en tant que bien d'équipement et de son niveau pertinent de rattachement, en tant

⁹⁹ En termes relatifs, la divergence d'évolution est nettement moins évidente, avec un recul de - 14,7 % chez les hommes et de - 12,5 % chez les femmes.

qu'équipement du ménage ou en tant qu'équipement individuel, et des conditions économiques qui seront plus ou moins favorables à une telle évolution. A l'heure actuelle, le statut de l'automobile reste encore intermédiaire entre un bien de niveau ménage et un bien individuel.

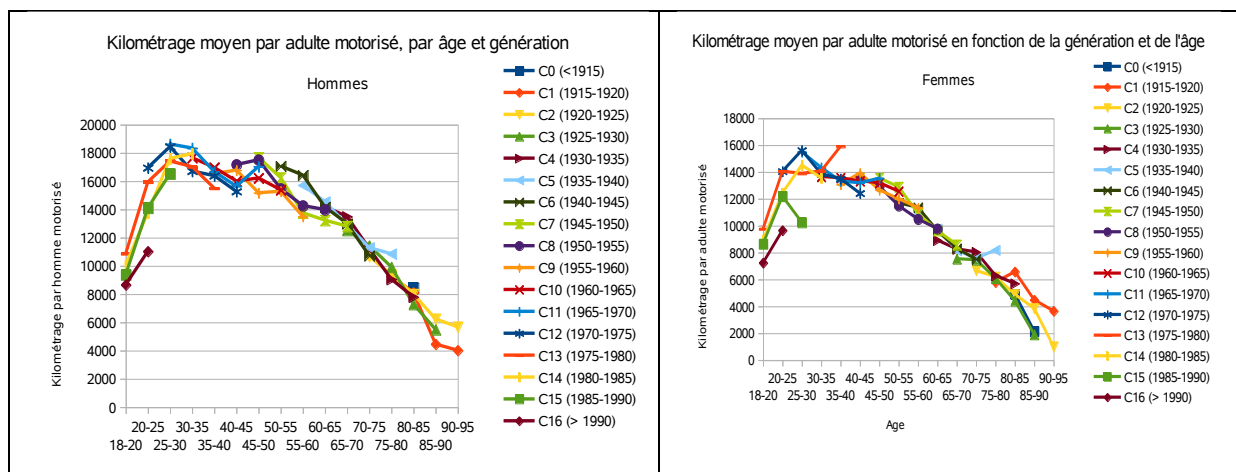
Kilométrage moyen par adulte motorisé, en fonction de l'âge et de la génération



Graphique 57 : Kilométrage annuel moyen par adulte motorisé selon l'âge et la cohorte

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Sur la base d'une analyse de type âge-cohorte, on montre que dans l'ensemble des générations, l'utilisation moyenne des véhicules par les personnes disposant de l'accès à un véhicule personnel s'accroît jusque vers l'âge de trente ans, puis décroît, d'abord lentement jusqu'à soixante ans, puis plus rapidement, surtout au-delà de soixante-quinze ans. En outre, les niveaux d'utilisation des véhicules pour un même groupe d'âge sont quasiment équivalents entre générations, de sorte que les effets de génération sont non-significatifs. Au sein de chaque génération, le maximum d'usage de la voiture chez les adultes motorisés se situe aux alentours de 16 800 km, un maximum atteint vers l'âge de trente ans. Celui-ci correspond à une période de la vie où les contraintes familiales, professionnelles et spatiales sont fortes, avec également de fréquents déplacements de loisirs. La baisse de l'utilisation des véhicules avec l'avancée en âge peut s'expliquer par une diminution progressive des besoins de mobilité, en premier lieu avec la disparition des déplacements professionnels, puis avec l'arrivée du grand âge entraînant une perte de capacités physiques et d'autonomie, ainsi qu'une réduction du désir de mobilité. Elle reflète également une évolution dans les lieux de résidence des adultes, corrélée aux étapes du cycle de vie, l'arrivée d'enfants dans le ménage entraînant fréquemment un départ vers les zones périurbaines. Si donc le taux de motorisation continue de s'accroître à des âges avancés, grâce à l'augmentation de l'épargne des ménages, en revanche les véhicules sont de moins en moins utilisés, surtout avec la cessation de l'activité professionnelle.



Graphiques 58 : Kilométrage annuel moyen par adulte motorisé par âge et cohorte selon le sexe
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOEs-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Contrairement à ce qu'on observe pour le taux de motorisation, les profils d'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés sont relativement analogues chez les hommes et chez les femmes, la principale différence se situant au niveau de la durée de la phase d'utilisation intensive de la voiture, qui se prolonge jusqu'à soixante ans chez les hommes, alors qu'elle commence à décroître dès cinquante ans chez les femmes. Le pic d'utilisation autour de l'âge de trente ans est par ailleurs plus marqué chez les femmes, pour lesquelles on observe une décroissance assez marquée de l'usage de la voiture entre l'âge de trente et quarante ans. Ce pic peut s'expliquer par le surcroît de déplacements effectués par les femmes en cette période du cycle de vie, mis en évidence notamment dans *Grimal (2013)*, et correspondant au cumul entre les déplacements professionnels et l'accompagnement scolaire des enfants (les fameuses « *mamans-taxis* »). Le pic d'utilisation de la voiture se situe également à un niveau plus élevé chez les hommes, d'environ 18 000 km contre 16 000 km chez les femmes. L'utilisation plus faible de la voiture chez les femmes s'explique notamment par les arbitrages sur le choix du lieu de résidence du ménage et des lieux d'emploi des conjoints. Une abondante littérature (*Blumen et Kellerman, 1990 ; Rosenbloom et Burns, 1993 ; Wachs, 1987*) montre que les distances domicile-travail sont généralement plus longues pour les hommes, ce qui peut s'expliquer par la nécessité pour les femmes de concilier l'existence d'une activité professionnelle avec les responsabilités familiales, notamment d'éducation et de soins aux enfants. Par ailleurs, l'accompagnement scolaire des enfants, incombant le plus souvent aux femmes, accroît leur niveau de mobilité dans la période du cycle de vie correspondante, ce qui implique en contrepartie une réduction des distances de déplacements afin de pouvoir maîtriser les budget-temps de déplacements. Toutefois, l'effet de période est susceptible de perturber la lecture de l'effet d'âge, compte tenu d'une baisse de l'utilisation de la voiture pour les deux derniers points d'observation de chaque cohorte, correspondant à la période des années 2000. Il est donc possible que le pic d'utilisation de la voiture se situe à un âge un peu plus avancé que trente ans, hors effet de période.

Par ailleurs, chez les hommes, on remarque l'existence d'effets de génération orientés à la baisse avant trente ans, dans les générations nées après 1975. Il semble même que ce décalage soit susceptible de se poursuivre au-delà de trente ans, au moins jusqu'à quarante, du moins si on compare les générations G_{12} (1970-75) et G_{13} (1975-80). L'analyse des effets de génération donne des résultats assez proches pour les femmes. Comme chez les hommes, les effets de génération y sont extrêmement limités. En outre, le kilométrage par adulte motorisé tend également à baisser dans les générations de femmes nées après 1975, toutefois dans une moindre mesure que chez les hommes. La comparaison entre les générations G_{12} (1970-75) et G_{13} (1975-80) suggère également

que le pic du kilométrage par adulte motorisé serait atteint plus tard chez les femmes dans la génération G₁₃ (1975-80) en comparaison de la génération G₁₂ (1970-75), soit aux alentours de trente-cinq à quarante ans au lieu de vingt-cinq à trente ans, ce qui est susceptible de s'expliquer notamment par le décalage de l'âge à la maternité¹⁰⁰.

Du fait de l'absence d'effets de génération, le kilométrage par adulte motorisé demeure en moyenne stable à long terme, ainsi qu'on l'a montré dans le chapitre précédent. Les effets de génération en matière d'auto-mobilité semblent donc se limiter en fin de compte à leur influence sur le processus sous-jacent de diffusion du permis de conduire et de la voiture, qui est fortement structuré par les effets de cohorte. Ces derniers permettent entièrement d'expliquer la croissance à long terme du kilométrage moyen par adulte, et d'en anticiper la saturation future, le seuil de saturation maximal semblant pouvoir être représenté par les comportements des générations nées dans les années 1970, qui ont atteint le niveau maximal d'accès au permis de conduire et à un véhicule personnel, ces derniers semblant plutôt en retrait, au moins en début de cycle de vie, dans les générations suivantes.

Influence de l'activité professionnelle

L'analyse de l'usage moyen des véhicules chez les adultes motorisés selon la position dans le cycle de vie suggère que l'existence d'une activité professionnelle exerce certainement une influence déterminante sur le niveau d'usage des véhicules. Une analyse de la littérature (*cf. chapitre I*) montre en outre que la présence de déplacements pendulaires pèse d'un poids plus significatif sur les distances parcourues que sur le nombre de déplacements quotidiens par personne, et cela pour au moins deux raisons :

- D'une part, les distances des déplacements pour se rendre au lieu de travail sont en moyenne beaucoup plus importantes que pour les autres motifs, qui s'effectuent généralement dans un bassin de vie de proximité, de dimension plus restreinte ;
- D'autre part, les taux d'occupation des véhicules sont aussi généralement plus faibles – en fait proches d'un adulte par véhicule – pour le motif travail, les lieux d'emploi des conjoints au sein d'un couple étant le plus souvent disjoints et ne permettant donc pas d'effectuer ces déplacements en commun. La pratique du covoiturage à partir de sites en ligne demeure par ailleurs peu répandue à ce jour pour les déplacements quotidiens.

	H – km/adulte	H – km/adulte équipé	F – km/adulte	F – km/adulte équipé	Tous – km/adulte	Tous – km/adulte équipé
Actifs	12 564	16 697	8 267	13 549	10 522	15 364
Inactifs	8 511	12 164	3 030	9 654	5 284	11 183
Actifs – 25- 50 ans	12 790	17 335	8 907	14 165	10 992	15 992
Inactifs – 25- 50 ans	6 115	15 079	5 800	13 392	5 857	13 680

Tableau 15 : Kilométrage moyen par adulte et par adulte motorisé selon le sexe et l'activité professionnelle

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

¹⁰⁰ Toutefois, l'observation de ce décalage demanderait confirmation à partir de l'observation des cohortes suivantes lorsqu'elles auront atteint le même âge.

De fait, le kilométrage moyen par actif s'élève à un peu plus de 10 500 km, en l'absence de contrôle de la motorisation, et 15 360 km pour les seuls actifs équipés. Chez les personnes inactives, ces chiffres atteignent respectivement 5 280 et 11 180 km. Les différences d'usage entre personnes actives et inactives sont toutefois moins importantes lorsqu'on contrôle l'équipement automobile, la plus grande partie de la différence entre actifs et inactifs étant issue d'écarts de motorisation. Ainsi, chez les hommes, le kilométrage moyen pour un homme actif s'élève à 12 560 km contre un peu plus de 8 500 km pour un homme inactif. Toutefois, pour les hommes motorisés, ces chiffres s'élèvent à respectivement 16 700 et 12 160 km. Chez les femmes, le kilométrage moyen par adulte s'élève à 8 270 km pour les femmes actives, contre 3 030 km chez les femmes inactives. En revanche, chez les femmes motorisées, ils atteignent respectivement 13 550 km et 9 655 km. Par conséquent, chez les hommes, l'effet de l'existence d'une activité professionnelle n'est pas sensiblement modifié par le contrôle de la motorisation, qui tend seulement à réduire légèrement l'écart d'usage des véhicules entre actifs et inactifs. Par contre, chez les femmes, l'effet de l'activité est nettement plus faible lorsqu'on contrôle le niveau de motorisation, compte tenu d'importants écarts de motorisation selon l'existence d'activité professionnelle chez les femmes.

L'effet de l'activité résulte en partie de l'âge, compte tenu de la corrélation entre l'inactivité et un âge avancé. En fait, les écarts d'usage des véhicules en fonction de l'existence d'activité professionnelle sont plus réduits si on restreint l'analyse aux adultes âgés de vingt-cinq à cinquante ans. Pour pouvoir évaluer correctement l'effet de l'activité professionnelle, il faut pouvoir le distinguer des effets respectifs du pouvoir d'achat et du grand âge. L'effet de l'inactivité chez les adultes en âge de travailler est double : il entraîne d'une part une diminution de mobilité en raison de l'absence des déplacements professionnels, d'autre part une perte de ressources financières, qui peut inciter les adultes inactifs à réduire également leur mobilité de loisirs.

Effet de l'existence d'une vie de couple

Que ce soit chez les hommes ou chez les femmes, l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés est plus importante chez les personnes ayant une vie de famille que chez les personnes vivant seules. C'est particulièrement le cas pour les hommes, pour lesquels on observe de plus que l'effet d'une vie de couple sur le kilométrage moyen par adulte est nettement plus élevé que sur l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés, ce qui montre que celui-ci est double :

- Comme on l'a montré précédemment, les hommes qui vivent en couple s'équipent plus souvent d'un véhicule personnel ;
- D'autre part, les hommes disposant d'un véhicule personnel tendront à l'utiliser de manière plus intensive lorsqu'ils vivent en couple.

	H – km/adulte	H – km/adulte équipé	F – km/adulte	F – km/adulte équipé	Tous – km/adulte	Tous – km/adulte équipé
Sans conjoint	7 750	13 970	4 988	10 924	6 049	12 337
Avec conjoint	11 992	15 228	5 961	12 879	9 043	14 382

Tableau 16 : Kilométrage moyen par adulte et par adulte motorisé selon le sexe et la situation conjugale

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Tant le suréquipement que la sur-utilisation du véhicule personnel en situation de vie de couple traduit le fait que ce dernier acquiert une fonction partiellement collective chez les hommes ayant

une vie de famille, en devenant le véhicule principal du ménage, et non plus seulement à usage strictement individuel.

Influence du revenu

	H – km/adulte	H – km/adulte équipé	F – km/adulte	F – km/adulte équipé	Tous – km/adulte	Tous – km/adulte équipé
Premier quartile (Q1)	8 802	14 067	4 608	12 143	6 500	13 250
Second quartile (Q2)	10 671	14 467	5 604	12 236	7 994	13 552
Troisième quartile (Q3)	11 816	15 048	6 243	12 330	8 922	13 932
Quatrième quartile (Q4)	13 006	16 345	6 418	12 128	9 696	14 651

Tableau 17 : Kilométrage moyen par adulte et par adulte motorisé selon le sexe et le niveau de vie
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Sans surprise, l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés augmente avec le niveau de vie, passant de 6 500 à 9 700 km environ entre le quartile inférieur (Q₁) et le quartile supérieur (Q₄). L'effet du niveau de vie est toutefois nettement moins important lorsqu'on contrôle le niveau d'équipement, avec une variation de seulement 13 250 à 14 650 km, toujours entre les quartiles extrêmes. Chez les hommes, le trafic moyen généré par un adulte varie de 8 800 à 13 000 km selon le quartile de niveau de vie du ménage auquel il appartient, et l'utilisation moyenne des véhicules chez les hommes motorisés de 14 070 à 16 350 km. Chez les femmes, le kilométrage moyen par adulte varie de 4 610 à 6 420 km entre les quartiles extrêmes. Toutefois, cet effet disparaît complètement lorsqu'on contrôle le niveau d'équipement, avec un niveau d'usage des véhicules qui se situe globalement aux alentours de 12 200 à 12 300 km chez les femmes disposant d'un véhicule personnel dans l'ensemble des quartiles. Par conséquent, l'effet du niveau de vie s'exerce globalement de manière plus importante sur les taux d'équipement que sur l'utilisation des véhicules chez les adultes équipés. Chez les hommes, toutefois - ou alternativement, pour le véhicule principal du ménage - le niveau de vie du ménage exerce également une légère influence sur l'usage des véhicules chez les adultes équipés. Au contraire, chez les femmes, le niveau de vie exerce une influence uniquement sur le taux de motorisation.

L'analyse des *Enquêtes Nationales Transport* (cf. chapitre I) nous a montré que les écarts de mobilité en fonction du niveau de vie se situaient davantage au niveau des déplacements à longue distance que des déplacements quotidiens. Les déplacements contraints du quotidien, en effet, ne peuvent faire l'objet des mêmes arbitrages en fonction des contraintes financières qui pèsent sur les ménages. Or, on observe ici que l'utilisation des véhicules par les femmes motorisées est indépendante du niveau de vie, tandis qu'elle dépend de ce dernier chez les hommes. Ce résultat peut s'expliquer si on considère que le véhicule attribué au chef de ménage joue simultanément le rôle de moyen de transport individuel pour les déplacements quotidiens de ce dernier et celui de véhicule principal du ménage, assurant une fonction collective en étant utilisé notamment pour les déplacements à longue distance. Il est dans ce cas logique que son utilisation soit plus sensible aux variations du niveau de vie, tandis que l'usage strictement individuel et quotidien du second véhicule y serait naturellement moins sensible.

Les écarts d'utilisation des véhicules entre quartiles chez les adultes équipés évoluent au cours du temps sans toutefois montrer de tendance claire à long terme : ils tendent plutôt à s'accroître

jusqu'en l'an 2000, puis sont sur une tendance décroissante. Autrement dit, la baisse de l'utilisation des véhicules s'accompagne de leur homogénéisation relative. Ce résultat peut être expliqué par les marges de manœuvre plus importantes dont disposent les ménages de niveau de vie élevé pour réduire leur mobilité, compte tenu d'une part supérieure de déplacements discrétionnaires et de lieux de résidence globalement plus urbains. Ce résultat est cohérent avec les résultats obtenus par *Cascajo et al. (2014)* sur les conséquences de la crise économique sur la mobilité des ménages espagnols (cf. section II.1.a).

Influence du niveau d'études

	Hommes	Femmes	Tous
< Bac	13 777	10 807	12 803
Bac	15 140	12 040	13 690
Premier cycle	16 919	13 511	15 240
Deuxième cycle	16 855	13 379	15 052
Troisième cycle	16 806	13 984	15 749

Tableau 18 : Kilométrage par adulte équipé en fonction du niveau d'études et du sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Le kilométrage moyen par adulte équipé progresse d'environ 12 800 km chez les adultes non-diplômés à 15 750 km pour les adultes diplômés du troisième cycle de l'enseignement supérieur. Toutefois, comme pour la motorisation, on constate que les niveaux d'usage des véhicules sont homogènes pour tout niveau d'études supérieur ou égal au bac, aussi bien pour les hommes que pour les femmes. Un faible niveau d'études semble donc également pouvoir constituer un frein à une utilisation intensive des véhicules, ce qui pourrait s'expliquer par un plus grand attrait pour les voyages chez les individus diplômés.

	Premier quartile (Q1)	Second quartile (Q2)	Troisième quartile (Q3)	Quatrième quartile (Q4)
< Bac	12 825	12 685	12 807	13 011
Bac	13 650	13 772	13 542	13 808
Premier cycle	14 583	15 068	15 444	15 475
Deuxième cycle	13 685	14 894	15 011	15 449
Troisième cycle	13 392	15 127	15 961	15 998

Tableau 19 : Kilométrage par adulte équipé en fonction du niveau de vie et de la qualification

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Toutefois, l'effet apparent du niveau d'études pourrait aussi masquer un effet du niveau de vie, comme on l'a observé pour l'accès au permis de conduire, compte tenu de la corrélation entre niveau d'études et niveau de vie. Pour en savoir davantage, il est donc nécessaire de croiser les effets de ces deux variables. Or, les effets du niveau d'études persistent à niveau de vie constant, l'utilisation moyenne des véhicules demeurant plus faible pour des niveaux d'études inférieurs au bac. L'effet du niveau de vie sur l'usage des véhicules est en outre différencié selon le niveau d'études. Quasiment inexistant pour chaque niveau d'étude inférieur ou égal au bac, son influence sur l'usage des véhicules tend à augmenter avec le niveau d'études, ce qui tend à prouver l'existence d'une interaction entre un niveau de vie élevé et un niveau d'études élevé, conduisant à une utilisation plus importante des véhicules, peut-être surtout pour les déplacements à longue distance¹⁰¹.

¹⁰¹ Le croisement entre ces deux critères désigne selon toute vraisemblance la population fortement diplômée des cadres et professions intellectuelles supérieures.

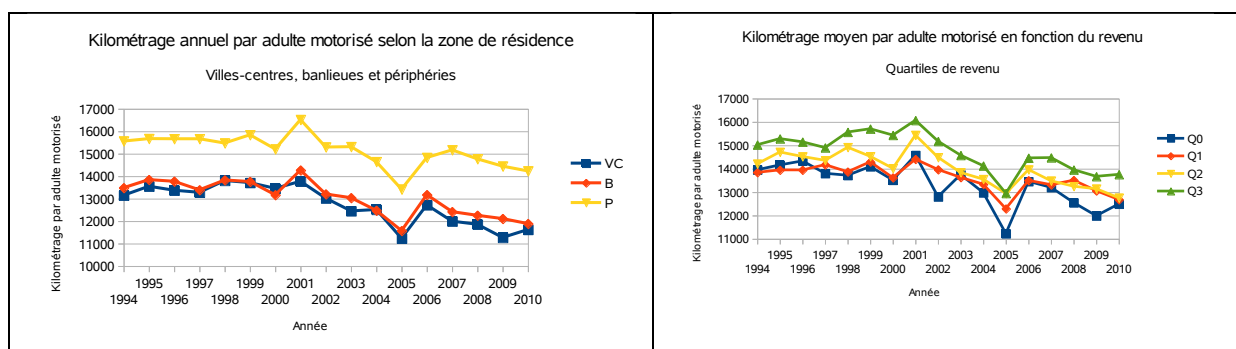
Effets de localisation

	Hommes	Femmes	Tous
Villes-centres	13 558	10 634	12 432
Banlieues	14 036	10 814	12 770
Espaces diffus	15 829	13 286	14 802

Tableau 20 : Kilométrage par adulte motorisé par type d'espace et selon le sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

A l'intérieur des agglomérations, l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés est peu différenciée entre les villes-centres et les banlieues, se situant aux alentours de 12 800 km dans les banlieues et 12 400 km dans les villes-centres. Elle est en revanche nettement plus élevée dans les espaces d'urbanisation diffuse, se situant autour de 14 800 km en moyenne. L'écart de kilométrage par adulte entre les agglomérations et les espaces d'urbanisation diffuse ne s'expliquent donc pas exclusivement par les niveaux de motorisation, mais également par l'usage des véhicules, bien que ces derniers apparaissent au final nettement plus limités que les contrastes en matière d'équipement. Ces écarts entre zones se retrouvent aussi bien chez les hommes que chez les femmes motorisé(e)s, avec une variation de l'usage moyen des véhicules de 13 560 à 15 830 km entre les agglomérations et les espaces d'urbanisation diffuse chez les premiers, et de 10 630 à 13 290 km chez les seconds.

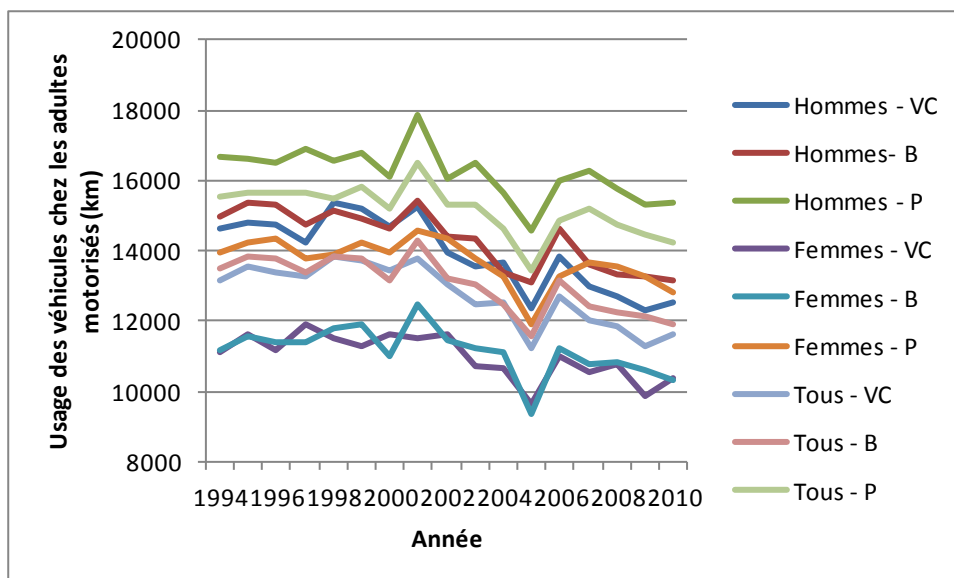


Graphiques 59 : Evolutions annuelles du kilométrage par adulte équipé par zone et par quartile

Lecture : VC=Villes-centres ; B=Banlieues ; P=Périphéries (Communes périurbaines + Espace à dominante rurale) ; Q1=1^{er} quartile.

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Dans tous les types d'espaces, le kilométrage par adulte équipé baisse toutefois depuis 2001, après une période de stabilité dans la seconde moitié des années 1990 et un pic en l'an 2001. Ces évolutions étant parallèles, les écarts d'utilisation de la voiture entre zones demeurent stables au fil du temps.



Graphique 60 : Utilisation moyenne des véhicules chez les adultes motorisés (veh*km) par sexe et type de zone de résidence

Lecture : VC=Villes-centres ; B=Banlieues ; P=Périphéries (Communes périurbaines + Espace à dominante rurale)

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'écart de kilométrage par adulte équipé entre villes-centres et espaces d'urbanisation diffuse baisse légèrement chez les femmes pendant cette période, de 2 800 à 2 500 km, tandis qu'il augmente assez nettement chez les hommes, de 2 000 à 2 800 km. Toutefois, cet accroissement du contraste dans l'usage des véhicules entre zones chez les hommes motorisés a lieu pendant les années 2000, et correspondrait donc à une rationalisation plus importante de l'usage du véhicule principal dans les zones moins dépendantes de l'automobile. Avant le choc sur les prix des carburants, les écarts entre zones en matière d'usage des véhicules tendaient plutôt à demeurer stationnaires. Les ménages disposant d'alternatives à la voiture auraient donc davantage réduit l'utilisation du véhicule principal.

Influence des prix des carburants

On a montré dans la section II.2.a.3 qu'à long terme, le kilométrage par adulte motorisé fluctue en lien avec les prix des carburants. Exprimés en € constants 2010/l, les prix des carburants sont caractérisés par une tendance haussière pour l'ensemble de la période d'observation. Le prix moyen du litre de carburant, toutes motorisations confondues, a ainsi progressé de 0,97 à 1,23 € constants 2010 entre 1994 et 2010, soit une progression perçue par l'utilisateur de + 26,3 %. Cette progression est toutefois irrégulière, et décrite de manière plus détaillée dans la section II.2.a.3. En comparaison des décennies qui précèdent, les prix des carburants sont donc caractérisés par une volatilité accrue.

Ces fluctuations annuelles sont synchrones pour les différents types de carburants, mais le prix du gazole a augmenté beaucoup plus vite que celui de l'essence, de 0,75 à 1,29 € constants 2010 par litre de carburant entre 1994 et 2008, soit une progression de + 70,9 %, contre seulement + 34,3 % pour l'essence. L'avantage comparatif du gazole sur l'essence s'est donc considérablement réduit, passant de 30 cts €/l à 11 cts €/l au cours de la période d'observation, reflétant l'alignement progressif de la fiscalité du gazole sur celle de l'essence. Cet avantage, bien qu'amoindri, subsiste néanmoins en raison d'un léger avantage de prix à la pompe combiné avec une consommation inférieure à celle des motorisations essence.

L'augmentation des prix des carburants, ainsi que nous l'avons montré, a motivé, outre la réduction de l'usage des véhicules, l'accélération de la *dieselisation* du parc à partir de l'an 2000. Avec une représentation en indice, on montre que celle-ci a permis de compenser partiellement l'impact de l'augmentation des prix des carburants sur le coût d'usage des véhicules, limitant son augmentation à 10 % entre 1994 et 2010, pour une augmentation de 26 % du prix à la pompe, le décrochage entre l'évolution des deux indicateurs ayant eu lieu à partir de l'an 2000, lorsque les ménages ont accéléré leur transition vers les motorisations de type diesel (*cf. section II.2.a.3*).

Toutefois, il semble que cette période soit désormais révolue, au regard des immatriculations de véhicules neufs depuis 2011, montrant un rééquilibrage des ventes en faveur des motorisations essence, qui s'explique à la fois par la baisse récente des prix des carburants depuis 2012, la fin du dispositif de bonus-malus et de prime à la casse qui stimulait l'achat de véhicules diesel, chez les plus modestes notamment, et le recours aux techniques de *downsizing* qui permettent de réduire la consommation des véhicules essence sans dégrader leurs performances. De plus, certaines villes mettent en place des réglementations visant à restreindre l'accès des véhicules *diesel* au centre-ville, ce qui peut conduire à dissuader l'achat de ce type de véhicules chez une partie des automobilistes.

Paradoxalement, les évolutions à court terme de l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés sont majoritairement contra-cycliques par rapport à celles des prix des carburants. Seules les périodes de 2003 à 2005, de 2006 à 2008 et de 2009 à 2010 présentent des évolutions de l'utilisation des véhicules en opposition de phase avec celles des prix des carburants. On peut néanmoins proposer une interprétation cohérente de ces comportements si on considère que les ménages réagissent de manière différée plutôt qu'immédiate aux variations de prix, ainsi qu'on l'a montré dans la section II.1.b.1. En outre, on a souligné dans la section II.2.a.6 toute la complexité du processus d'adaptation des agents économiques aux évolutions de prix et de l'information pertinente prise en compte au niveau du signal-prix - sens de variation, amplitude, durée, possible asymétrie. Ce processus est en particulier susceptible de présenter les caractéristiques suivantes :

- La prise en compte de l'information transmise par le signal-prix n'est pas immédiate mais progressive. Pour qu'elles soient prises en compte, les évolutions constatées doivent faire sens, c'est-à-dire qu'elles doivent présenter un caractère suffisamment durable, régulier ou répété pour pouvoir être interprétées, et justifier de mettre en œuvre des modifications de comportements, notamment lorsque ces dernières impliquent une réorganisation complète du mode de vie. Si en effet les prix des carburants sont caractérisés par des fluctuations de court terme totalement aléatoires autour d'une tendance stationnaire, ils ne justifient pas de mettre en œuvre des évolutions pérennes, mais seulement des ajustements à la marge, qui présentent un caractère réversible. Au contraire, en cas de hausse des prix s'échelonnant sur plusieurs années consécutives, ou d'augmentation significative de leur volatilité, l'information transmise par le signal-prix indique clairement à l'individu la nécessité d'adapter son comportement ;
- Par ailleurs, le délai de réactivité des agents économiques s'explique aussi par le temps nécessaire à la mise en œuvre des mesures d'adaptation décidées, qui sera d'autant plus important que ces mesures présentent un caractère critique (*ARCADIS-TRANSAE-LET, 2012*), par exemple en cas de changement du moyen de transport utilisé pour se rendre à son lieu de travail, d'abandon d'un véhicule ou de changement de lieu de résidence ;

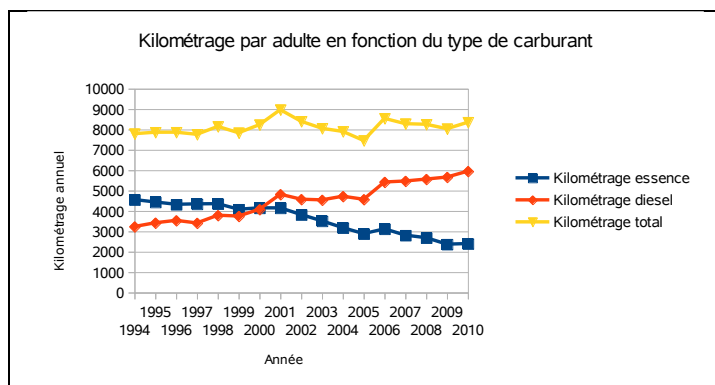
- En dehors du caractère prolongé ou répété du signal-prix, l'intensité du signal joue sans doute aussi un rôle. Ainsi, le changement observé dans les comportements survient juste après l'an 2000, correspondant à une année d'augmentation forte et soudaine des prix, qui équivaut, en l'espace d'une seule année, à l'augmentation totale enregistrée entre 1994 et 1999. Celle-ci pourrait avoir déclenché un « choc psychologique », tandis que les évolutions présentant un caractère progressif ne déboucheraient que sur des modifications à la marge des comportements. On peut expliquer ce phénomène de deux manières complémentaires : d'une part, une évolution lente peut passer en quelque sorte presque inaperçue, alors qu'une évolution soudaine et brutale sera interprétée comme un signal fort ; d'autre part, des évolutions progressives sont sans doute jugées plus acceptables qu'une évolution forte et soudaine. Les individus réagiraient ainsi de manière plus violente en cas de franchissement d'un certain seuil psychologique, correspondant à leur « consentement à payer ». Dans le cas des prix des carburants, ce dernier semblerait se situer aux alentours de 1,2 € constant 2010/l ou bien pour un coefficient budgétaire des dépenses en carburant de 3,5 à 3,7 % selon la Comptabilité Nationale, au regard des périodes marquant le début d'une forte réduction de l'usage de la voiture, respectivement en l'an 2000 et en l'an 2006 (*cf. section II.2.a.4*) ;
- En plus de la durée et de l'intensité du signal-prix, on peut considérer que les individus réagissent aussi à sa volatilité, qui est génératrice d'insécurité psychologique et de risque budgétaire. Face à une volatilité accrue, ils mettraient alors en place une stratégie de maîtrise du risque financier induit, en adoptant des comportements plus sobres, robustes aux augmentations de prix.

Les agents économiques réagissent ainsi selon toute vraisemblance de manière globale à l'information transmise par le signal-prix, qui ne se limite pas aux évolutions instantanées, mais représentent une information consolidée intégrant la durée, l'intensité et la volatilité du signal. En partant de ce point de vue, on peut considérer que les augmentations de la fin des années 1990 étaient encore relativement modérées, et ne justifiaient pas que les ménages mettent en œuvre une réorganisation complète de leur mobilité quotidienne. Dans l'ensemble, il semblerait que les ménages soient moins sensibles à des variations de court terme, susceptibles de présenter un caractère aléatoire, qu'à une tendance de long terme. Les modifications de comportements, en effet, sont psychologiquement coûteuses, dans la mesure où elles nécessitent des adaptations dans les modes de vie, et doivent donc être justifiées par des tendances durables, qui permettent de se projeter de manière raisonnable dans l'avenir.

Usage des véhicules par type de motorisations

En moyenne, un individu adulte est l'utilisateur principal de 0,35 véhicules essence et 0,27 véhicules *diesel*, parcourant respectivement 3 600 et 4 101 km. Le kilométrage moyen par adulte en véhicule *diesel* est donc supérieur au kilométrage moyen par véhicule *essence*, bien que ces derniers soient plus nombreux que les véhicules *diesel* au moins jusqu'en 2006. Les véhicules *diesel* font donc l'objet d'une utilisation plus intensive. Toutefois, la structure du parc par type de motorisation diffère selon le genre. Ainsi, un homme adulte est l'utilisateur principal d'en moyenne 0,41 véhicule essence et 0,39 véhicule *diesel*, avec lesquels il parcourt respectivement 4 413 km et 6 488 km, alors qu'une femme adulte est l'utilisatrice principale d'en moyenne 0,29 véhicule essence et 0,17 véhicules *diesel*, avec lesquels elle parcourt respectivement 2 864 km et 2 712 km.

La structure du parc de véhicules par type de motorisation est donc hétérogène entre les hommes et les femmes : les femmes sont majoritairement utilisatrices de véhicules essence, tandis que la structure du parc de véhicules chez les hommes est équilibrée entre motorisations *essence* et *diesel*. On observe également que les écarts entre hommes et femmes proviennent surtout des niveaux d'équipement en véhicules *diesel*, qui peuvent s'expliquer à nouveau par la spécialisation de l'usage des véhicules, le véhicule principal du ménage étant probablement d'un usage collectif et polyvalent couvrant également les longues distances, pour lequel les motorisations *diesel* tendent à être privilégiées en raison de leurs avantages économiques.

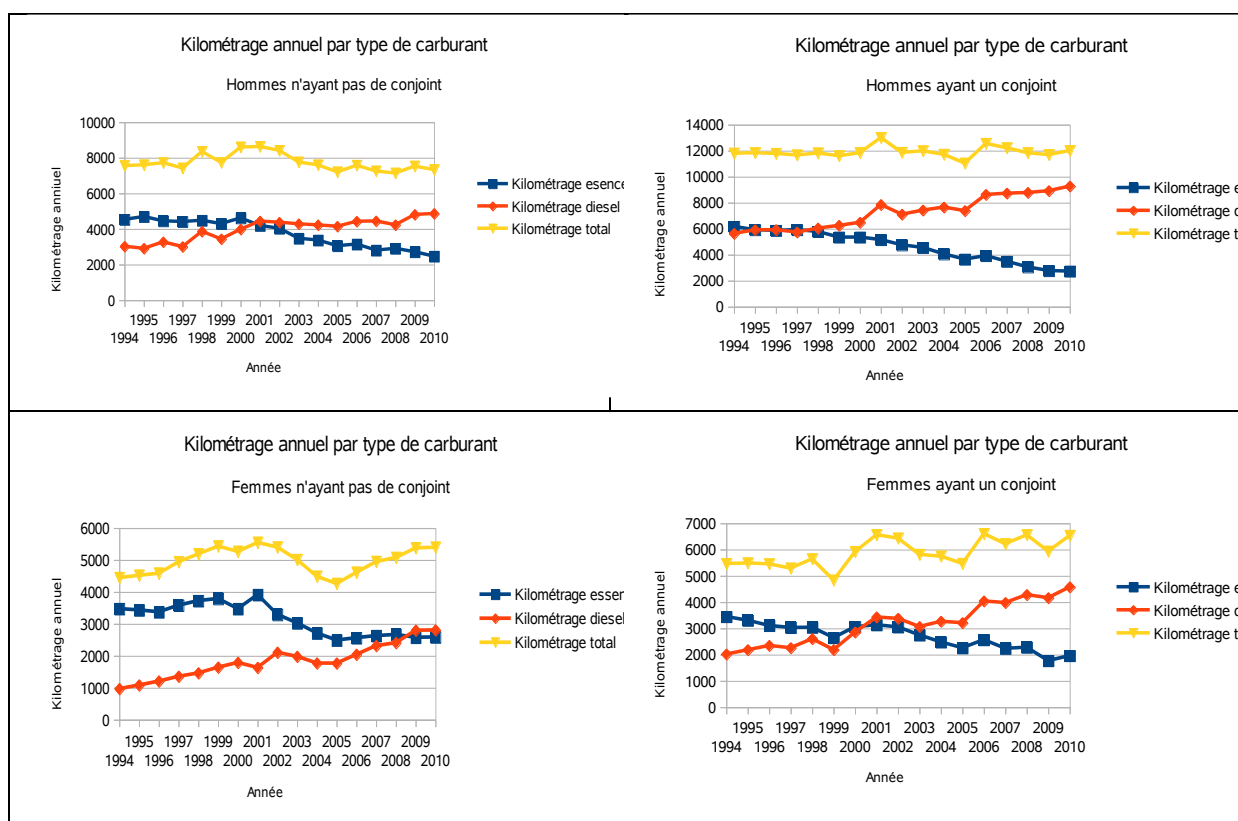


Graphique 61 : kilométrage par adulte en fonction du type de carburant

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Cette substitution se retrouve au niveau des kilométrages parcourus, avec une diminution du kilométrage par adulte de 4 557 à 2 399 km pour les véhicules *essence*, et une progression de 2 357 à 4 170 km pour les véhicules *diesel*. La *dieselisation* plus importante des véhicules dont l'homme est l'utilisateur principal est susceptible de s'expliquer par la fonction collective du véhicule principal, notamment utilisé pour les voyages à longue distance, plus longs et plus coûteux que la moyenne, qui bénéficieraient tout particulièrement d'une motorisation plus économe. L'usage des véhicules pour les déplacements à longue distance est également susceptible d'être plus sensible aux facteurs monétaires de revenus et de prix. Globalement en effet, l'utilisation des véhicules chez les hommes motorisés apparaît plus sensible aux contraintes financières que son utilisation chez les femmes.

Cette interprétation semble confortée par le fait que c'est au sein des couples que le mouvement de *dieselisation* du parc est le plus sensible. Chez les hommes, par exemple, l'accélération de la *dieselisation* du parc après l'an 2000 s'observe uniquement chez les hommes vivant en couple. La proportion de véhicules *diesel* est en outre plus élevée chez les hommes ayant un conjoint que chez les hommes vivant seuls. Un homme vivant seul est ainsi l'utilisateur principal de 0,35 véhicule essence et de 0,23 véhicule *diesel* en moyenne, contre 0,44 véhicule essence et 0,38 véhicule *diesel* pour un homme vivant en couple. Le taux de *dieselisation* augmente également chez les femmes ayant une vie de famille, quoique plus légèrement. Une femme vivant seule est ainsi l'utilisatrice principale de 0,34 véhicule essence et 0,12 véhicule *diesel*, contre 0,27 véhicule essence et 0,19 véhicule *diesel* pour une femme vivant en couple. En raison des différences qualitatives de motorisation entre hommes et femmes, il sera préférable de calculer des indices de prix séparés en phase de modélisation, d'autant que les prix de l'essence et du gazole connaissent des évolutions divergentes au-delà de l'an 2000, qui contribuent sans doute également à expliquer pourquoi le kilométrage par adulte motorisé a davantage diminué chez les hommes que chez les femmes, compte tenu d'un plus fort pourcentage de *dieselisation*.

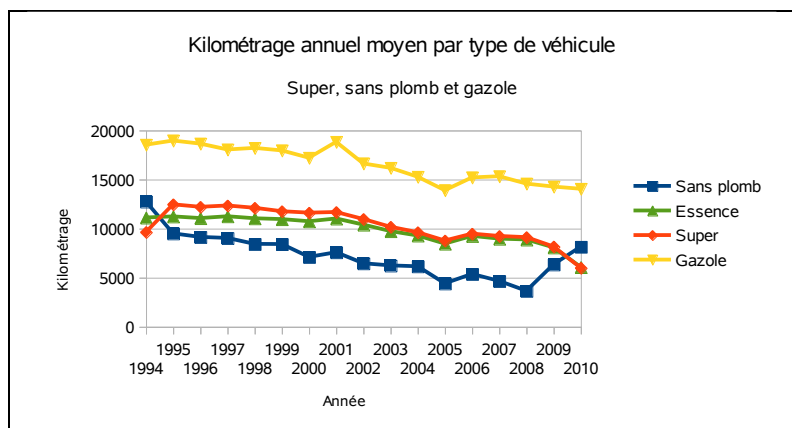


Graphiques 62 : Nombre de voitures par adulte par type de motorisation selon le sexe et la situation de famille

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Il est important de rappeler à ce stade que les évolutions respectives de l'usage des véhicules selon le genre sont susceptibles de s'interpréter, non comme des réactions purement individuelles à l'évolution des prix, mais comme l'effet d'une stratégie d'organisation à long terme de la mobilité au niveau du ménage, impliquant des arbitrages internes. Cette réorganisation semble clairement constituer une inflexion par rapport au schéma comportemental observé dans les années 2000. Jusque là en effet, la progression des taux d'équipement était utilisée pour permettre l'accès des individus à une mobilité de plus en plus autonome. Depuis le choc sur les prix de l'énergie, les comportements pourraient s'être réorganisés selon une stratégie de maîtrise globale de l'utilisation des véhicules au niveau du ménage. Toutefois, on a également montré dans la section II.2.a.6 que cette hypothèse avait le même degré de plausibilité que celle d'une adaptation de caractère habituel à une augmentation exceptionnelle des prix des carburants, qui permettait très bien de rendre compte de l'évolution du kilométrage moyen par adulte dans les années 2000 (cf. section II.2.a.5). Chacune de ces deux hypothèses est également acceptable, tout en impliquant des choix de modélisation différents. Dans la suite, on a toutefois retenu une modélisation sur une base individuelle, en cohérence avec l'approche développée dans l'ensemble de la thèse.

Influence du nombre de véhicules sur l'utilisation moyenne de chaque véhicule



Graphique 63 : évolution annuelle du kilométrage moyen par adulte motorisé par type de motorisation

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Un facteur fréquemment mis en avant pour expliquer la baisse tendancielle du kilométrage moyen par adulte motorisé est qu'avec l'augmentation du nombre de véhicules du ménage, le kilométrage total parcouru par le ménage est réparti sur un plus grand nombre de véhicules. L'effet d'un nombre accru de véhicules est en effet double :

- D'une part, il permet à une proportion croissante d'adultes d'utiliser la voiture pour leurs déplacements quotidiens, ce qui entraîne une augmentation du kilométrage moyen par adulte mais pas nécessairement du kilométrage moyen par adulte motorisé, le nombre de déplacements étant démultiplié. Par exemple, dans un couple où le conjoint travaille, l'apport d'un véhicule supplémentaire va permettre au conjoint de basculer des transports en commun vers la voiture pour les déplacements vers le lieu de travail ;
- Mais d'autre part, certains déplacements effectués en commun le demeurent, en dépit de l'augmentation du nombre de voitures. Par conséquent, le kilométrage parcouru correspondant à ces déplacements est réparti sur un plus grand nombre de véhicules. C'est le cas en particulier des déplacements de vacances et de loisirs du week-end qui restent effectués en commun. L'apport d'un véhicule supplémentaire n'entraîne donc pas une individualisation complète de l'utilisation des véhicules, mais seulement partielle.

En raison du caractère seulement partiel de l'individualisation des déplacements, l'augmentation du nombre de véhicules du ménage entraîne donc une baisse de l'usage moyen de chaque véhicule, dans les cas de figure où elle ne crée pas de trafic induit, ou n'induit pas d'augmentation de la mobilité. En particulier, dans l'hypothèse d'une saturation du besoin global d'utilisation de la voiture au niveau du ménage, l'augmentation du niveau d'équipement du ménage, au lieu d'entraîner une individualisation de l'usage des véhicules, contribuerait à faire décroître le niveau d'utilisation de chacun d'entre eux, en répartissant l'usage total de la voiture par l'ensemble des membres du ménage sur un plus grand nombre de véhicules.

Cependant, le caractère partiel de l'individualisation des déplacements ne constitue pas la seule cause de baisse tendancielle du kilométrage moyen par véhicule induite par l'augmentation des niveaux d'équipement des ménages. Celle-ci résulte également des arbitrages effectués au niveau du ménage dans les choix du lieu de résidence et des lieux d'emploi des conjoints, privilégiant

généralement un moindre éloignement entre le lieu de travail et le lieu de résidence pour les femmes. Ces arbitrages contribuent à l'utilisation plus faible du second véhicule, et par conséquent aussi à la baisse de l'usage moyen de chaque véhicule avec l'augmentation de leur nombre.

Toutefois, compte tenu du plafonnement du kilométrage moyen par adulte dans les années 2000 et du caractère relativement stationnaire du kilométrage par adulte motorisé, on peut *a priori* considérer que l'augmentation du niveau d'équipement des ménages joue un rôle relativement mineur dans l'explication de la baisse de l'usage des véhicules dans les années 2000. En effet, la principale conséquence du caractère partiel de l'individualisation des déplacements est qu'on peut s'attendre à une croissance du kilométrage moyen par adulte inférieure à celle du nombre de voitures par adulte, tandis que l'indexation complète correspond à un schéma d'individualisation totale de l'usage des véhicules. De plus, l'inversion de tendance dans l'évolution de l'utilisation moyenne des véhicules à partir de la fin des années 1990 s'accorde mal avec l'hypothèse d'un phénomène principalement causé par l'augmentation du nombre de véhicules, compte tenu du caractère progressif et continu de l'augmentation du nombre de voitures par adulte. Enfin, d'après les vagues annuelles du recensement rénové de la population, les niveaux d'équipement automobile des ménages auraient plutôt tendance à stagner depuis 2006.

Pour évaluer plus précisément l'influence de l'augmentation du niveau d'équipement des ménages sur l'utilisation moyenne des véhicules, on considère l'évolution du taux d'équipement chez les femmes qui vivent en couple. Or, celui-ci est légèrement orienté à la baisse avant 1999, avant d'augmenter par la suite. L'accélération dans la diffusion du second véhicule au sein des couples dans les années 2000 pourrait donc avoir contribué à la baisse de l'utilisation moyenne des véhicules. Mais la baisse tendancielle du kilométrage par véhicule s'observe aussi lorsqu'on segmente l'analyse selon le genre, aussi bien chez les hommes que chez les femmes. La baisse de l'utilisation moyenne des véhicules résulte donc pour partie du caractère partiel de l'individualisation des déplacements avec la diffusion du second véhicule, et pour partie de la baisse du pouvoir d'achat énergétique. On observe également que la baisse de l'utilisation moyenne des véhicules est environ deux fois plus importante chez les hommes que chez les femmes. En effet, l'adjonction d'un véhicule supplémentaire dans les ménages fait accéder une partie des femmes au statut de femmes motorisées, mais ne modifie pas l'utilisation moyenne des véhicules chez les femmes motorisées. L'évolution de l'utilisation des véhicules chez les femmes motorisées reflète donc sans doute de manière plus fiable l'effet réel des contraintes financières sur l'utilisation des véhicules. Par contre, chez les hommes, l'ajout d'un second véhicule entraîne le report d'une partie des déplacements du véhicule principal vers le second véhicule, et donc un déclin de l'utilisation du véhicule principal.

Selon cette interprétation, la réaction à l'augmentation des prix des carburants expliquerait la totalité de la baisse de l'utilisation moyenne des véhicules chez les femmes, contre seulement la moitié de celle qu'on observe chez les hommes, l'autre moitié s'expliquant par l'augmentation du niveau d'équipement.

III.1.c.4) Synthèse sur les déterminants de l'auto-mobilité

Dans cette section, on rassemble les principaux résultats des sections III.1.c.1 à III.1.c.3 sur les déterminants de l'auto-mobilité.

Synthèse sur les déterminants du permis de conduire

En ce qui concerne tout d'abord les déterminants de l'accès au permis de conduire, on peut dresser les constats suivants :

- Le caractère progressif de la diffusion du permis de conduire, qui s'étale sur plusieurs décennies, résulte de l'existence d'effets de génération. Ces derniers sont plus importants chez les femmes, et se traduisent par une proportion de titulaires du permis globalement en retrait par rapport aux hommes, compte tenu d'une diffusion restreinte du permis de conduire dans les générations nées avant la seconde guerre mondiale. Celle-ci a progressé jusque dans les générations nées pendant les années 1965-70, jusqu'à rattraper les niveaux de diffusion observés chez les hommes. L'accès au permis de conduire est homogène entre hommes et femmes dans les générations suivantes. La suppression de la préparation gratuite aux examens assurée dans le cadre du service militaire obligatoire a en outre contribué à la réduction de l'accès au permis de conduire dans la « génération Y », née après 1980, et à un retour des inégalités sociales dans l'accès au permis de conduire chez les hommes, ainsi qu'à un alignement sur les taux d'accès observés chez les femmes. La génération Y est également caractérisée par un accès plus tardif au permis de conduire, en comparaison des générations qui précèdent, qui s'explique notamment par un décalage dans les étapes du cycle de vie. Ce délai contribue au recul de l'auto-mobilité chez les « jeunes adultes » au sein des nouvelles générations ;
- Le processus de diffusion du permis de conduire semble toutefois atteindre ses limites, avec l'approche de la saturation. Déjà atteinte chez les hommes, elle est en voie de l'être très prochainement chez les femmes ;
- Le permis de conduire se diffuse un peu plus rapidement dans les zones dépendantes à l'automobile – communes de l'espace à dominante rurale, communes périurbaines et petites agglomérations - alors qu'il a déjà atteint un niveau de saturation dans l'agglomération parisienne, où sa diffusion est même en recul chez les hommes. Les seuils de saturation sont variables en fonction des zones de résidence, traduisant le degré également variable de captivité à l'égard de l'automobile ;
- L'accès au permis de conduire stagne depuis les années 2000 chez les plus modestes, en particulier chez les jeunes hommes, probablement en raison du coût de la préparation aux examens, en lien avec les effets de la suppression de la préparation gratuite assurée dans le cadre du service militaire obligatoire. A l'inverse, il tend à s'homogénéiser dans les deux quartiles supérieurs, où il est déjà proche de la saturation ;

Synthèse sur les déterminants de l'accès à un véhicule personnel chez les titulaires du permis de conduire

Chez les hommes

Au regard des déterminants de l'accès à un véhicule personnel chez les détenteurs masculins du permis de conduire, on remarque que :

- Les effets de génération y sont peu prononcés, et concernent surtout les générations nées avant la seconde guerre mondiale. Dans les générations suivantes, les taux d'équipement

sont très homogènes parmi les titulaires du permis de conduire ;

- Les effets d'âge sont également de faible ampleur. Ainsi, les niveaux d'équipement des titulaires du permis sont très homogènes chez les hommes entre vingt et quatre-vingt ans. Ils tendent toutefois à augmenter légèrement tout au long de la vie, en lien avec l'augmentation des revenus. L'arrivée du grand âge n'entraîne plus de baisse des niveaux de motorisation chez les hommes dans les générations nées après 1925 ;
- Le taux d'équipement des hommes est plus élevé dans le cas d'une vie de famille, ce qui s'explique par la fonction partiellement collective du véhicule principal ;
- Les effets de localisation sont également peu prononcés, la diffusion du mono-équipement étant plus homogène entre zones que celle du multi-équipement ;
- Un effet de période peut être mis en évidence à partir des années 2000, caractérisées par une accélération de la croissance du taux de motorisation et dans la tendance à la *dieselisation* du parc. Cette évolution peut s'expliquer par le renchérissement des prix des carburants, qui a incité les ménages, en particulier les plus modestes, à se tourner vers des motorisations plus économes, permettant de réduire le coût d'usage des véhicules, probablement en anticipant certaines décisions d'achat projetées. C'est particulièrement vrai pour le véhicule principal du ménage, dont l'homme est le plus souvent utilisateur principal, et qui assure les déplacements à longue distance pour les loisirs et les vacances, plus coûteux que les autres ;

Chez les femmes

Pour la diffusion de l'accès à un véhicule personnel chez les détentrices du permis, les principaux déterminants sont les suivants :

- Les effets de génération y sont importants, et nettement plus prononcés que chez les hommes. Ils sont surtout observables chez les femmes vivant en couple, pour lesquelles ils s'expliquent notamment par l'augmentation de leur taux d'activité, les femmes ayant eu de moins en moins à choisir entre une vie de famille et l'exercice de responsabilités professionnelles au fil des générations successives. L'augmentation des besoins de mobilité des femmes en raison des déplacements professionnels, combinée avec l'apport d'un second revenu dans le ménage et l'évolution des formes urbaines, une proportion croissante de familles résidant au sein des espaces périurbains, a contribué à la diffusion du second véhicule, dont les femmes sont le plus souvent utilisatrices principales. L'évolution des mentalités a également renforcé le besoin d'autonomie des femmes en matière de mobilité, indépendamment des contraintes de la vie quotidienne. Toutefois, certaines de ces dynamiques semblent s'enrayer pour la période récente : notamment, les nouveaux arrivants dans les zones peu denses sont moins souvent des familles, comportent plus souvent un seul actif occupé, et sont dans l'ensemble moins motorisés que les anciens résidents (*Madre et al., 2015*). Cette évolution s'explique en partie par l'augmentation des prix immobiliers pendant les années 2000, qui ont contribué à chasser vers les périphéries les ménages des milieux modestes et des couches moyennes, ainsi que par les effets de la récession économique. On n'observe pas, en revanche, de signes évidents de baisse de la motorisation chez les détentrices du permis dans la génération Y. Compte tenu d'effets de génération plus importants en ce qui concerne la diffusion du multi-équipement, l'accès à

un véhicule personnel est globalement plus hétérogène chez les femmes que chez les hommes ;

- En raison de la progression continue des taux d'équipement chez les femmes titulaires du permis, les écarts entre hommes et femmes pour l'accès à un véhicule personnel n'ont toutefois cessé de se réduire au fil des générations successives ;
- Les effets de localisation sont extrêmement marqués pour l'accès des femmes à un véhicule personnel au sein des couples. L'opportunité d'un second véhicule est en effet beaucoup plus forte chez les résidents des espaces d'urbanisation diffuse. Ce sont également les femmes qui contribuent le plus à l'accroissement des écarts de motorisation entre les zones, compte tenu de la dynamique du multi-équipement, étant le plus souvent les utilisatrices du second véhicule ;
- Les effets d'âge sont beaucoup plus prononcés pour l'accès à un véhicule personnel chez les femmes. Celui-ci progresse rapidement jusque vers l'âge de trente-cinq à quarante ans, puis décroît, d'abord de manière assez importante, en lien avec les interruptions de parcours professionnels parfois suscitées par la maternité, puis plus lentement jusque vers l'âge de cinquante ans, et plus rapidement ensuite. Toutefois, cet effet ne cesse de décroître d'une génération à l'autre, l'arrivée d'enfants dans le ménage entraînant moins fréquemment des interruptions de parcours professionnel ;
- L'accès à un véhicule personnel est également plus différencié selon le revenu chez les femmes, l'opportunité d'un second véhicule étant davantage évaluée au regard des ressources financières que pour le véhicule principal du ménage.

Synthèse sur les déterminants de l'usage des véhicules chez les adultes motorisés

Les principaux constats qui se dégagent de l'analyse des déterminants de l'usage des véhicules chez les adultes motorisés sont les suivants :

- Les effets de génération sont négligeables, sauf dans celles qui sont nées après 1975, pour lesquelles on observe un kilométrage par adulte motorisé en retrait par rapport aux générations précédentes en début de cycle de vie¹⁰² ;
- On peut remarquer l'existence d'un effet de genre, avec une utilisation globalement plus faible de la voiture chez les femmes, qui peut s'expliquer de deux manières : d'une part, par la fonction collective du véhicule principal qui ne sert pas seulement aux déplacements individuels du quotidien ; d'autre part, par les arbitrages internes au ménage sur les choix du lieu de résidence et des lieux d'emploi des conjoints, qui privilégient davantage le rapprochement du lieu de résidence et du lieu d'emploi chez les femmes, reflétant la nécessité pour les femmes de concilier vie professionnelle et responsabilités familiales. Les écarts entre hommes et femmes dans l'utilisation des véhicules apparaissent toutefois nettement plus réduits qu'en matière d'équipement ;
- Les effets d'âge sont très importants, avec un pic vers l'âge de vingt-cinq à trente ans, suivi d'un déclin rapide ensuite. Ils sont également un peu plus marqués chez les femmes que

¹⁰² L'usage des véhicules, tout comme l'accès au permis de conduire, contribue donc au recul de l'auto-mobilité chez les jeunes adultes des nouvelles générations, par rapport à leurs aînés.

chez les hommes entre vingt-cinq et cinquante ans, avec un déclin rapide entre vingt-cinq et quarante ans, correspondant probablement à l'effet des interruptions de parcours professionnel consécutives à la maternité ;

- L'utilisation des véhicules est plus sensible aux contraintes financières - revenus, prix des carburants - chez les hommes que chez les femmes, ce qui traduit probablement la fonction collective du véhicule principal, dont l'homme est le plus souvent l'utilisateur principal, davantage utilisé pour les déplacements de loisirs et de vacances, qui sont par nature plus sensibles à l'évolution des contraintes financières que les déplacements obligés du quotidien. Le ménage en effet, aura d'abord tendance à renoncer à certains déplacements discrétionnaires, avant d'envisager une réorganisation complète de son mode de vie au quotidien, impliquant des adaptations plus lourdes, en termes de choix de mode, de renoncement à un véhicule ou de changement du lieu de résidence ;
- Les effets de l'activité professionnelle et d'une vie de famille sur l'utilisation des véhicules chez les adultes équipés sont également plus importants pour les hommes que pour les femmes ;
- Contrairement à ce qu'on observe pour les niveaux d'équipement, les effets de localisation sont assez faibles pour l'utilisation des véhicules, à peine plus élevée chez les résidents des espaces d'urbanisation diffuse que pour les habitants des agglomérations. Ce sont donc davantage les niveaux d'équipement qui contribuent à l'hétérogénéité de l'usage de la voiture entre zones, ainsi qu'au renforcement tendanciel des contrastes territoriaux entre les agglomérations et leur périphérie, même si l'usage des véhicules chez les adultes équipés y évolue également de manière différenciée ;
- Un effet de période est observable au-delà de l'an 2000, prenant la forme d'une baisse tendancielle de l'utilisation des véhicules, suscitée par l'augmentation des prix des carburants et renforcée par la récession à partir de 2009. Cet effet est un peu plus prononcé chez les hommes, ce qui s'explique par les raisons déjà mentionnées.

Synthèse globale sur les déterminants de l'auto-mobilité

	Hommes	Femmes	Tous
Taux de détenteurs du permis	90,8 %	79,9 %	85,1 %
Taux d'équipement	72,2 %	45,0 %	57,9 %
Km/adulte	10 977	5 625	8 160
Consommation/adulte (l)	801	410	599
Budget/adulte (€ 2010)	827	427	617
Km/adulte équipé	15 291	12 418	13 852
Consommation de carburant/adulte équipé (l)	1 095	872	974
Budget/adulte équipé (€ 2010)	1 145	950	1 083

Tableau 21 : indicateurs globaux de taux d'équipement, de kilométrage, de consommation de carburant et de budget annuel, selon le sexe

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Dans le tableau ci-dessus, on a regroupé un certain nombre d'indicateurs de mobilité génériques extraits des analyses qui précèdent. Au final, c'est surtout le processus de diffusion de l'automobile qui contribue à la croissance de l'auto-mobilité à long terme, tandis que l'utilisation moyenne des véhicules présente un caractère stationnaire. Celui-ci résulte lui-même essentiellement de la

diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel chez les femmes, qui sont en retrait par rapport aux niveaux de diffusion observés chez les hommes. L'importance des effets de genre s'explique par une diffusion plus tardive, qui s'est poursuivie jusqu'aux générations de femmes nées dans les années 1970, en raison d'évolutions tant dans les mentalités, qu'au niveau des modes de vie et des conditions économiques. Au contraire, les niveaux de diffusion de l'accès tant au permis de conduire qu'à un véhicule personnel sont quasiment stabilisés et proches de la saturation chez les hommes. Toutefois, en dépit d'une diffusion quasi-générale chez les hommes, l'accès au permis de conduire ainsi qu'à un véhicule personnel demeurent incomplets, ce qui peut s'expliquer à la fois par la subsistance d'entraves financières chez les plus modestes, et l'absence de besoins dans certaines situations, par exemple chez une partie des ménages résidant en zone dense.

Compte tenu d'une diffusion plus tardive et moins générale, l'accès à un véhicule personnel est donc globalement caractérisé par une plus forte hétérogénéité chez les femmes que chez les hommes, que ce soit en fonction de la génération, de la position dans le cycle de vie, du niveau de vie du ménage, de l'existence d'activité professionnelle, de la situation familiale ou du lieu de résidence. Ce dernier facteur, en particulier, joue un rôle particulièrement important dans l'explication de la variabilité des niveaux de motorisation chez les femmes, ainsi qu'on le verra dans la section III.2 à partir de la modélisation. Le taux de motorisation est au contraire caractérisé par une grande homogénéité chez les hommes, compte tenu de l'atteinte de niveaux de saturation dans les générations nées après-guerre.

L'évolution des niveaux d'équipement automobile dans les générations successives tend à montrer que celles-ci ont modifié leur manière de réagir à un niveau d'équipement automobile initialement contraint par rapport aux besoins de mobilité du ménage, en augmentant leur niveau d'équipement, plutôt qu'en procédant à un arbitrage sur l'utilisation du véhicule unique, comme le faisaient les générations précédentes. Des comportements de gestion de la pénurie ont ainsi été remplacés par des comportements d'adaptation du niveau d'équipement aux besoins du ménage. Ce choix a sans doute aussi été favorisé par la progression du pouvoir d'achat des ménages, avec l'apport d'un second revenu dans le ménage. L'essentiel de cette transition semble avoir eu lieu entre les générations nées pendant la guerre et celles nées pendant les années 70, ce qui correspond également à la transition des modes de vie familiaux vers la « *ville émergente* » fondée sur l'automobile. En effet, les divergences de comportements entre générations apparaissent finalement assez limitées parmi les femmes nées avant la guerre, de même qu'au sein des générations nées après 1970, ce qui suggère un processus de transition entre deux états stationnaires, porté par les générations de femmes nées pendant le *baby-boom*.

A l'exception notable des effets d'âge, l'utilisation moyenne des véhicules est dans l'ensemble beaucoup plus homogène que ne le sont les niveaux d'équipement. Aussi bien les effets de genre que les effets de génération, de localisation, de l'activité professionnelle, y sont plus limités. Toutefois, elle est un peu moins importante chez les femmes que chez les hommes, une différence qui s'explique par la fonction collective du véhicule principal ainsi que par les arbitrages internes au ménage dans les choix du lieu de résidence et des lieux d'emploi des conjoints, en lien avec la nécessité pour les femmes de concilier vie professionnelle et responsabilités familiales. L'influence des contraintes financières sur les niveaux d'utilisation des véhicules est en outre plus importante chez les hommes qu'elle ne l'est chez les femmes.

L'auto-mobilité semble reculer dans les générations nées après 1975, de façon toutefois plus marquée chez les hommes que chez les femmes. Cet effet de génération n'est pas homogène sur

l'ensemble du cycle de vie, mais semble plutôt résulter d'un décalage général des étapes du cycle de vie, qui se traduit notamment par un accès plus tardif au permis de conduire, ainsi que par un usage des véhicules réduit en début de cycle de vie chez les jeunes adultes motorisés. En revanche, le taux d'équipement des jeunes adultes titulaires du permis ne montre pas de signe de repli. La disparition du service militaire obligatoire est également susceptible d'y avoir contribué, compte tenu de la préparation gratuite aux examens qui était assurée dans ce cadre. Les autres facteurs éventuels d'un recul de l'auto-mobilité chez les jeunes adultes sont analysés plus en détail dans la section II.1.c.

L'hétérogénéité des comportements en matière d'auto-mobilité selon le genre justifie *a posteriori* le choix de segmenter l'analyse, et de la conduire à un niveau individuel plutôt qu'au niveau du ménage. Toutefois, l'interprétation des effets de genre est sans doute plurielle. L'une d'entre elles, déjà largement relevée tout au long des analyses, est de nature sociétale, et peut se formuler en termes d'inégalités de genre, qui déclinent au cours du temps et au fil des générations avec le processus d'émancipation des femmes et l'augmentation de leur participation au marché du travail. On peut toutefois également en proposer une interprétation de nature plus économique, à savoir qu'ils reflètent le caractère encore intermédiaire du statut du second véhicule, généralement attribué au conjoint, en tant que bien d'équipement durable. En raison de ce statut, l'opportunité de son acquisition est, davantage que pour le véhicule principal, évaluée au regard des besoins de mobilité du conjoint et des possibilités financières du ménage. Aussi, dans le cas où la femme exerce une activité professionnelle, si l'éloignement entre le lieu de résidence et le lieu de travail de l'épouse est très important, ou si le ménage dispose d'un niveau de vie élevé, l'acquisition d'un second véhicule sera tout à la fois jugée plus opportune et plus réalisable que si l'épouse demeure au foyer, si le ménage réside en centre-ville, ou s'il dispose de faibles ressources financières. Au contraire, l'acquisition du véhicule principal présente dans une large mesure le caractère d'une norme, le fait de disposer d'au moins un véhicule dans le ménage étant considéré comme une fonction de première nécessité. Toutefois, le statut du second véhicule tend lui-même à se banaliser progressivement au fil des générations, en évoluant progressivement vers le statut de bien de première nécessité, qu'il possède déjà dans les dernières générations de femmes observées.

Des taux d'équipements plus faibles et plus hétérogènes chez les femmes peuvent ainsi être interprétés, si on situe l'analyse au niveau du ménage, comme des inégalités sociales entre les ménages ayant les moyens d'acquérir un second véhicule et ceux qui n'en ont pas encore les moyens, plutôt que comme des inégalités de genre, au sein d'une étape encore intermédiaire de diffusion du second véhicule, dont la possession demeure discriminante. Le véhicule principal, par contre, présente quasiment le caractère d'une norme et d'un bien de première nécessité. A l'inverse, si on situe l'analyse au niveau individuel, ils seront interprétés comme la manifestation d'importantes inégalités entre hommes et femmes. La réalité est sans doute intermédiaire, dans la mesure où la fonction du véhicule principal du ménage est partiellement individuelle, et partiellement collective, reflétant la nature encore intermédiaire de l'automobile entre un bien de niveau ménage et un bien de niveau individuel, une nature qui évolue toutefois à mesure du processus de diffusion de l'automobile.

Un bien dont la diffusion est encore incomplète tel que le second véhicule se caractérise en effet par un niveau de diffusion moins avancé, associé à une plus grande hétérogénéité et une sensibilité supérieure aux variations des conditions économiques. Dans l'analyse économétrique mise en œuvre dans la section III.2, l'hétérogénéité des niveaux de diffusion de l'automobile entre hommes et femmes, ainsi que l'homogénéisation tendancielle des taux d'équipement, devraient

donc pouvoir être mis en évidence par le calcul d'estimations transversales des effets marginaux et des élasticités de la probabilité d'équipement, que l'on peut supposer plus élevés chez les femmes, et par un déclin tendanciel des élasticités qui devrait s'observer aussi bien chez les hommes que chez les femmes. Chez les hommes en particulier, on peut s'attendre à des élasticités désormais très faibles, compte tenu de niveaux de diffusion plus proches de la saturation.

La diffusion d'un bien d'équipement peut en effet être vue comme un processus de transition entre deux états stationnaires. Ce processus de transition permet de rendre compte du déclin tendanciel des élasticités souvent relevé dans la littérature sur les modèles de motorisation et de trafic automobile, ainsi que de l'homogénéisation croissante des niveaux de mobilité que l'on observe par exemple dans les enquêtes transport. Pour que ce déclin se répercute sur la sensibilité du kilométrage moyen par adulte aux variations des conditions économiques, il est toutefois nécessaire que l'utilisation moyenne présente une tendance stationnaire, ou du moins des élasticités stationnaires.

Dans le tableau en page suivante, on a synthétisé les différents facteurs de l'accès au permis de conduire ainsi qu'à un véhicule personnel, en indiquant leur importance respective.

Hommes – permis de conduire	Hommes – motorisation parmi les détenteurs du permis de conduire	Femmes – permis de conduire	Femmes - motorisation parmi les détenteurs du permis de conduire
<p>⑩ Effets d'âge faibles (sauf avant 25 ans) ;</p> <p>⑩ Effets de génération : forts dans les générations nées avant-guerre, faibles depuis, baisse dans les générations nées après 1975 ;</p> <p>⑩ Effets de localisation faibles sauf ville-centre ;</p> <p>⑩ Effets de niveau de vie : ressources financières insuffisantes = entrave au permis de conduire ;</p> <p>⑩ Qualification inférieure au bac = entrave au permis de conduire (possible corrélation avec l'effet de niveau de vie) ;</p>	<p>⑩ Effets d'âge faibles (sauf avant 25 ans, progression lente et régulière par la suite, déclin aux grands âges dans les générations nées avant 1925 mais pas dans les générations postérieures) ;</p> <p>⑩ Pas d'effets de génération sensibles sauf disparition de l'effet de grand âge dans générations nées après 1925, et baisse du taux de motorisation dans les générations nées après 1975 ;</p> <p>⑩ Effet de niveau de vie faible sauf sous-motorisation chez les plus pauvres ;</p> <p>⑩ Effets de localisation faibles : pas ou peu d'arbitrages selon la dépendance automobile.</p> <p>⑩ Effet positif de la vie conjugale ;</p>	<p>⑩ Effets d'âge faibles (sauf avant 25 ans) ;</p> <p>⑩ Effets de génération très importants : forte croissance jusqu'aux générations nées en 1960-70, puis tendance à la baisse ;</p> <p>⑩ Effets de localisation plus importants que chez les hommes ;</p> <p>⑩ Effet du niveau de vie faible ;</p> <p>⑩ Effet négatif d'une qualification inférieure au bac ;</p>	<p>⑩ Effets d'âge très importants : forte hausse jusque vers 40-50 ans, puis diminution lente, plus rapide au-delà de 75 ans ;</p> <p>⑩ Effets de génération très importants en cas de vie conjugale, qui est de moins en moins un obstacle à l'activité professionnelle et à la motorisation au fil des générations ;</p> <p>⑩ Effets de localisation importants : acquisition du véhicule appréciée au regard de la dépendance automobile ;</p> <p>⑩ Effet positif de la présence d'enfants dans le ménage ;</p> <p>⑩ Effet positif de l'existence d'activité professionnelle ;</p> <p>⑩ Effet de niveau de vie important ;</p>
<p>Globalement :</p> <p>Homogénéité et proximité de la saturation, stabilité dans le temps.</p>	<p>Globalement :</p> <p>Homogénéité et proximité de la saturation, croissance faible sauf effet de relance opportuniste dans les années 2000.</p>	<p>Globalement :</p> <p>Hétérogénéité intergénérationnelle, croissance, en voie de saturation.</p>	<p>Globalement :</p> <p>Hétérogénéité intergénérationnelle de l'effet de la vie conjugale, appréciation de l'opportunité au regard des besoins et des contraintes, forte croissance, potentiel de croissance subsistant.</p>
<p>Hommes :</p> <p>⑩ Diffusion de la conduite et de l'automobile déjà ancienne ;</p> <p>⑩ Proximité de la saturation ;</p> <p>⑩ Faiblesse des effets de génération ;</p> <p>⑩ Homogénéité des taux de permis et d'équipement : faible dépendance aux besoins et contraintes ;</p> <p>⑩ Statut de bien de première nécessité ;</p> <p>⑩ Elasticités faibles ;</p>		<p>Femmes :</p> <p>⑩ Diffusion de la conduite et de l'automobile plus récente ;</p> <p>⑩ Marges de progression encore importantes ;</p> <p>⑩ Importance des effets de génération ;</p> <p>⑩ Hétérogénéité des taux de permis et d'équipement : forte dépendance aux besoins et contraintes ;</p> <p>⑩ Statut de bien intermédiaire ;</p> <p>⑩ Elasticités fortes ;</p>	
<p>⑩ Baisse de l'auto-mobilité dans les générations nées après 1975, aussi bien chez les hommes que chez les femmes, la tendance étant toutefois plus marquée chez les hommes.</p>			

Tableau 22 : Synthèse des déterminants du permis de conduire et de la motorisation des détenteurs du permis de conduire

Celui-ci est complété par un tableau analogue pour l'usage des véhicules :

Hommes – usage des véhicules	Femmes – usage des véhicules
<p>⑩ Effets de génération négligeables, sauf baisse dans les générations nées après 1975 ;</p> <p>⑩ Effets d'âge très importants : augmentation de l'usage des véhicules jusque vers 30 ans, puis diminution, d'abord lente jusque vers 60 ans, puis plus rapide ensuite, surtout avec l'arrivée du grand âge au-delà de 75 ans ;</p> <p>⑩ Effets de localisation modérés ;</p> <p>⑩ Effets du niveau de vie et des prix des carburants importants, en raison de la fonction collective du véhicule principal du ménage, utilisé pour les déplacements de loisirs et à longue distance ;</p> <p>⑩ Effet positif de la vie de couple sur l'utilisation des véhicules.</p>	<p>⑩ Effets de génération négligeables, sauf baisse dans les générations nées après 1975 ;</p> <p>⑩ Effets d'âge très importants : augmentation de l'usage des véhicules jusque vers 30 ans, puis diminution, d'abord lente jusque vers 50 ans, puis plus rapide ensuite, surtout avec l'arrivée du grand âge au-delà de 75 ans ;</p> <p>⑩ Effets de localisation modérés ;</p> <p>⑩ Effets du niveau de vie et des prix des carburants faibles, en raison d'un usage concentré sur les déplacements du quotidien ;</p> <p>⑩ Effet de la vie de couple négligeable sur l'utilisation des véhicules.</p>
<p>Globalement : utilisation des véhicules en moyenne plus élevée chez les hommes que chez les femmes, plus hétérogène et sensible aux contraintes financières chez les hommes que chez les femmes, traduisant la spécialisation des véhicules – véhicule principal du ménage chez l'homme, remplissant un certain nombre de fonctions collectives, véhicule réservé à un usage strictement individuel, réservé aux déplacements du quotidien chez la femme.</p>	

Tableau 23 : Synthèse des déterminants de l'usage des véhicules chez les adultes motorisés

Il est intéressant de remarquer que, quel que soit le niveau de l'auto-mobilité et le genre, la présence ou l'absence d'effets de génération semble finalement permettre d'anticiper le caractère stationnaire ou non-stationnaire d'une tendance : ainsi, les niveaux d'accès au permis de conduire et à un véhicule personnel, qui sont caractérisés par des effets de génération importants, connaissent une forte croissance, alors qu'à l'inverse, l'utilisation des véhicules, dont les effets de génération sont absents, est stationnaire. De même, la croissance de l'auto-mobilité est observée chez les femmes, pour lesquelles les effets de génération sont importants, mais pas chez les hommes, pour lesquels les effets de génération sont faibles. Du point de vue de l'interprétation tant de l'hétérogénéité que des dynamiques en matière d'auto-mobilité, les effets de génération peuvent donc être considérés comme la pierre angulaire de l'analyse, bien davantage que les facteurs économiques¹⁰³. C'est du moins vrai pour le processus sous-jacent de diffusion d'un bien durable tel que l'automobile. Au contraire, dans le cas de l'usage des véhicules, les facteurs économiques jouent un rôle plus fondamental, tandis que les effets de génération sont négligeables. L'hétérogénéité des déterminants de l'auto-mobilité par niveaux justifie *a posteriori* le choix d'une modélisation emboîtée, dans la mesure où les processus qui déterminent chaque niveau de décision sont irréductibles l'un à l'autre.

¹⁰³ Les facteurs économiques ne sont pas absents de l'explication des effets de génération eux-mêmes, mais ces derniers synthétisent vraisemblablement une interaction plus complexe de facteurs, non seulement économiques, mais également sociétaux et spatiaux.

SECTION III.2

MODELISATION DE L'AUTOMOBILITE

III.2 Modélisation de l'auto-mobilité

III.2.a) Cadre général : une modélisation séquentielle par niveaux

Dans cette section, le volet descriptif de l'analyse des déterminants de l'auto-mobilité est complété par la modélisation économétrique sur données de panel. Tout comme l'analyse descriptive, celle-ci est décomposée par niveaux – permis, motorisation, usage – et par sexe. Le socle de chacun des modèles est une analyse de type âge-cohorte complétée par des variables économiques, de localisation, etc. Il s'agit donc du modèle âge-cohorte étendu. La structure de ce modèle est adaptée à la nature des données utilisées, à savoir des données de panel. Cela implique notamment que la perturbation du modèle est décomposée entre un effet spécifique individuel et une perturbation locale. L'objectif de la modélisation est ici un objectif d'inférence – l'estimation des paramètres du modèle, d'effets marginaux moyens et d'élasticités – davantage qu'un objectif de prévision. A plus long terme, une utilisation du modèle à des fins de projection du trafic automobile sur la base de différents scénarios dont les variables d'ajustement seraient les comportements des générations futures, l'évolution des revenus et des prix des carburants, ainsi que l'efficacité énergétique des véhicules, est néanmoins envisagée. Les prévisions obtenues pourraient également être comparées avec celles provenant des scénarios du *Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)*. Les estimations obtenues pour les élasticités aux revenus et aux prix des carburants seront comparées avec celles qu'on peut trouver dans la littérature. Outre des élasticités aux prix des carburants (en €/l), on estimera également des élasticités au coût d'usage des véhicules (en €/km). On tient compte, également, pour la détermination du prix moyen du carburant, des différences dans le type de motorisation entre les hommes et les femmes, les motorisations *diesel* étant davantage représentées chez les hommes (cf. section III.1).

On considère que l'espérance du kilométrage parcouru pour un adulte résulte de la combinaison de trois facteurs : la probabilité d'avoir le permis de conduire, la probabilité d'être l'utilisateur principal d'un véhicule, conditionnellement à la détention du permis de conduire, et l'espérance du kilométrage par adulte équipé, conditionnellement à l'utilisation principale d'un véhicule. Cette modélisation implique d'interpréter l'espérance du kilométrage parcouru chez les adultes motorisés comme l'espérance du kilométrage, conditionnellement à la possession d'un véhicule. Afin de modéliser la probabilité pour un individu adulte d'avoir le permis de conduire, puis d'être motorisé, dans l'hypothèse où il aurait le permis de conduire, on s'appuie sur l'utilisation de modèles de choix discrets dichotomiques. Les modèles utilisés sont des modèles *probit* à erreurs composées, un choix qui est justifié dans la suite de l'analyse, avant de passer à la présentation des résultats de la modélisation. L'utilisation des véhicules chez les adultes équipés est représentée comme une variable continue, modélisée à partir d'une régression linéaire adaptée au cas des données de panel.

L'organisation générale du modèle par niveaux s'inscrit dans le cadre des modèles dits hiérarchiques ou emboîtés. L'hypothèse d'absence de corrélation entre les niveaux ou, de manière équivalente, d'un processus séquentiel dans lequel les différents états sont, toutes choses égales par ailleurs¹⁰⁴, indépendants, est justifiée d'abord *a priori*, puis évaluée *a posteriori* en modélisant de manière conjointe les niveaux de motorisation et d'usage des véhicules au travers d'un modèle

¹⁰⁴ C'est-à-dire en supposant connus et fixés les facteurs observables.

de type *Tobit II*. Dans ce modèle, l'hypothèse d'indépendance entre les niveaux est relâchée, c'est-à-dire qu'on autorise une corrélation entre les facteurs non-observés qui exercent simultanément une influence sur la probabilité de motorisation et sur le niveau d'usage des véhicules.

Pour une description détaillée des modèles, des estimateurs statistiques utilisés et de leurs propriétés, on renvoie aux annexes 3 et 4. Dans la suite du chapitre, on se contentera d'exposer brièvement les choix de modélisation retenus ainsi que la spécification des modèles, avant de passer à la présentation des résultats. Mais auparavant, on commence par décrire la sélection effectuée pour constituer le sous-échantillon utilisé pour l'inférence.

III.2.b) La sélection d'échantillon pour l'inférence statistique

III.2.b.1) Le sous-échantillon utilisé pour l'inférence

Dans le cadre des données de panel, deux dimensions de variabilité des observations peuvent être distinguées :

- La dimension interindividuelle, dite aussi « *between* », dans laquelle on ne considère que les différences permanentes entre individus ;
- La dimension intra-individuelle, dite aussi « *within* », dans laquelle on ne considère que les variations au cours du temps pour chacun des individus.

Pour l'inférence statistique, il en découle deux estimateurs spécifiques des paramètres, dits également « *between* » et « *within* », mesurant respectivement l'effet des facteurs dans les dimensions transversale et longitudinale. D'autres estimateurs combinent ces deux dimensions avec des pondérations variables. C'est le cas notamment de l'estimateur des moindres carrés ordinaires, dit aussi des MCO, dans lequel les dimensions transversale et longitudinale ne sont pas pondérées, mais le poids des différentes observations est uniforme – on parle aussi de données « empilées » - et de l'estimateur des moindres carrés quasi-généralisés, dit aussi des MCQG, dans lequel les dimensions transversale et longitudinale de variabilité sont pondérées de manière « optimale »¹⁰⁵, c'est-à-dire de manière à maximiser la précision des estimations, ou autrement dit, d'en améliorer l'efficacité.

Nombre d'adultes	Répartition des adultes par nombre d'adultes du ménage (%)	Taux de sélection (%)
1	18,5	96,2
2	53,2	95,3
3	16,2	70,4
4	9,1	58,7
5	2,4	50,5
6	0,4	38,4
7	0,1	0,0
8	0,0	0,0
Total	100,0	86,7

Tableau 24 : Structure de l'échantillon initial et final, avant et après repondération

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

¹⁰⁵ Pour davantage de précisions, on renvoie à l'annexe 4.

Dans le cadre de modèles sur données empilées, on effectue une première sélection de l'échantillon utilisé pour l'inférence, dans laquelle on ne conserve que les ménages pour lesquels l'âge et le sexe sont renseignés pour tous les adultes du ménage, ce qui conduit à retenir plutôt les ménages de petite taille, constitués du chef de foyer et de son conjoint, car le taux de remplissage diminue au-delà de deux adultes, et surtout au-delà de trois adultes, comme le montre le tableau 24 (*cf. section III.1.c*).

Après sélection, il ne subsiste que 185 000 observations environ dans le sous-échantillon sur les 213 000 initiales. Toutefois, le taux de sélection varie grandement selon le nombre d'adultes du ménage. Quasiment tous les ménages comportant deux adultes ou moins sont sélectionnés, puis le taux de sélection décroît fortement à partir de trois adultes, passant d'environ 95 % pour les ménages comportant moins de deux adultes à environ 70 % pour les ménages de trois adultes, et seulement 59 % pour les ménages de quatre adultes. À partir des taux de sélection observés, on corrige les pondérations initiales en les multipliant par l'inverse du taux de sélection différencié selon le nombre d'adultes, de manière à reconstituer la structure de l'échantillon initial.

Dans le cas du modèle sur données de panel, il est nécessaire d'imposer une certaine structure à l'hétérogénéité des observations. De manière à pouvoir mettre en évidence l'existence d'effets individuels permanents à travers la permanence des choix répétés effectués par chaque individu, il est en effet nécessaire de pouvoir les observer sur une durée suffisamment longue. Disposer d'une durée d'observation suffisante est également souhaitable pour pouvoir obtenir des estimations « longitudinales » des paramètres, en plus des estimations « transversales » usuelles, ou des mesures de sensibilité en plus de mesures d'hétérogénéité, et évaluer des effets à long terme dans le cadre de processus dynamiques, le cas échéant. Pour l'inférence statistique basée sur des modèles adaptés aux données de panel, on a donc choisi d'utiliser le sous-échantillon des individus présents pendant une durée d'au moins cinq ans dans le panel. La durée retenue de cinq ans correspond à un arbitrage entre le souhait de disposer d'une durée d'observation individuelle suffisante pour prendre en compte les effets de long terme et la volonté de limiter l'attrition et l'endogénéité induites par la sélection (*cf. encadré*).

Ce choix se justifie en outre par le fait que, si on souhaite évaluer ultérieurement la robustesse du modèle, il est préférable d'utiliser deux échantillons différents en phase d'estimation et en phase de simulation. Cette sélection conduit à réduire de manière importante la taille de l'échantillon. Ainsi, sur les 66 700 individus de l'échantillon d'origine qui comportent ensemble 185 000 observations, seulement 11 600 individus figurent dans l'échantillon final, ne représentant plus que 91 300 observations. La diminution de la taille de l'échantillon est moins importante pour les observations que pour les individus, car les individus sélectionnés, étant observés en moyenne sur plus longue période, comportent chacun un nombre plus élevé d'observations que la moyenne.

Encadré 13 : Le choix de cylindrer ou de ne pas cylindrer

En pratique, il est fréquent de disposer d'échantillons « non-cylindrés », c'est-à-dire pour lesquels les individus ne sont pas observés aux mêmes périodes, ou pour lesquels une partie des observations est manquante à certaines périodes. Une solution simple dans ce cas consiste à éliminer tous les individus pour lesquels une observation est manquante. On parle de cylindrage de l'échantillon. Toutefois, il peut en résulter une réduction considérable de la taille de l'échantillon, dont découle une perte d'information et de précision des estimateurs. Le cylindrage est également susceptible d'entraîner un biais dans l'estimation des paramètres si la sélection est endogène, c'est-à-dire si la probabilité de sélection n'est pas indépendante des perturbations du modèle. Dans la mesure du possible, il est donc préférable de ne pas cylindrer. Afin de déterminer si les estimations obtenues à partir de l'échantillon cylindré sont l'objet d'un biais de cylindrage, *Nijman et Verbeek (1992)* ont proposé un test « à la Hausman » (1978). Cependant, même un panel incomplet peut être affecté d'un problème de sélection endogène, donc non-ignorable. Afin d'éviter des estimations biaisées, il est alors nécessaire de les corriger en prenant en compte le processus de sélection dans l'estimation du modèle. Plusieurs méthodes sont utilisables, notamment celles proposées par *Heckman (1979)*, *Nijman et Verbeek (1992)*, et *Wooldridge (1995)*. Compte tenu de ces méthodes, l'incomplétude d'un panel, même en présence de biais de sélection endogène, ne présente pas de difficulté insurmontable pour l'estimation des modèles à erreurs composées et à effets fixes.

Avant ou après la sélection d'échantillon pour l'inférence statistique, les données disponibles pour la modélisation sont des données non-cylindrées. La conservation des individus sur un critère de durée de présence dans le panel ne modifie pas, en effet, le caractère tournant du panel, sauf dans le cas où on ne conserverait que les individus présents sur toute la période d'observation - de 1993 à 2010 – auquel cas on obtiendrait un sous-échantillon cylindré, comme dans l'approche de *Kemel et al. (2011)*. Cependant, la durée moyenne de présence d'un individu dans l'échantillon étant de trois ans, l'utilisation de ce sous-échantillon pour l'inférence entraînerait un problème sévère d'attrition, à savoir une réduction considérable de la taille du sous-échantillon, et par conséquent une perte très importante de précision des estimateurs et de significativité des analyses, en particulier des analyses croisées.

Les problèmes d'attrition et de biais de sélection endogène sont également susceptibles d'affecter le sous-échantillon restreint des individus présents pendant au moins cinq ans dans le panel, mais dans une moindre mesure, la sélection étant moins sévère. Le cumul des échantillons annuels permet de disposer malgré tout d'un sous-échantillon total de taille respectable, ce qui limite la perte de précision des estimateurs. On corrigera *a priori* la structure du sous-échantillon utilisé pour l'inférence par une repondération appropriée. D'une manière générale, il est donc préférable de ne pas cylindrer (*Pirotte, 2012*)¹⁰⁶. La littérature économétrique montre de plus que l'ensemble des méthodes utilisées sur panels cylindrés ne nécessitent pas d'adaptations particulières dans le cas des panels non-cylindrés.

¹⁰⁶ C'est le choix qu'on a retenu ici. Compte tenu de l'absence de cylindrage, l'ensemble des périodes d'observation pour un individu donné n'est pas toujours connexe. Dans certains cas, les individus sont présents dans le panel plusieurs années consécutives, disparaissent du panel, puis y reviennent ultérieurement.

III.2.b.2) Le problème de sélection endogène

On opère donc une sélection d'échantillon utilisé pour l'inférence statistique, dont peuvent résulter trois types de problèmes différents :

- **Un biais dans la structure de la sélection** : les caractéristiques des individus présents dans la sélection diffèrent de celles des individus présents dans l'échantillon total. Dans ce cas, les analyses descriptives peuvent être biaisées, en particulier si les variables exerçant une influence sur la sélection exercent également une influence sur les variables analysées et/ou modélisées ;
- **Une perte de précision des estimations** : le fait de ne retenir qu'une partie des individus diminue la taille de l'échantillon, et par conséquent la significativité statistique des analyses. Ce problème est toutefois mineur si la taille de la sélection est suffisamment importante, ce qui est ici le cas compte tenu de la compilation de nombreuses vagues annuelles ;
- **Un biais d'endogénéité** : Dans l'inférence statistique, les estimations des paramètres peuvent être biaisées, en particulier dans le cas où il existe des facteurs non-observés qui exercent simultanément une influence sur la probabilité d'appartenir à la sélection et sur la variable dépendante, autrement dit si la sélection, toutes choses égales par ailleurs, n'est pas indépendante de la variable modélisée.

On montre que la probabilité de conservation pendant plusieurs années dans le panel est corrélée négativement avec le nombre de voitures du ménage, en raison de la propension des ménages ayant un grand nombre de voitures à se laisser plus facilement dans le remplissage du questionnaire (Collet, 2007). En effet, les ménages multi-motorisés ont tendance à répondre moins souvent les années suivantes car le remplissage du questionnaire présente un caractère fastidieux lorsque le ménage dispose de plusieurs véhicules. En outre, la *SOFRES* tend à pénaliser les ménages qui peinent à renvoyer un questionnaire complet. La multi-motorisation constitue donc un facteur d'attrition sévère, mais d'autres facteurs y contribuent également. Ainsi, davantage que le nombre de véhicules du ménage, c'est en fait la taille du ménage qui exerce une influence sur la probabilité de réponse au questionnaire. Cependant, un modèle de sélection basé sur le nombre d'adultes et le nombre de voitures du ménage permet de montrer que le paramètre associé au nombre d'adultes est moins sensible à l'intégration du nombre de voitures que l'inverse. Le rôle du nombre de voitures du ménage apparaît résiduel par rapport à celui du nombre d'adultes, qui exerce une influence très négative sur la probabilité de figurer dans le panel pendant plusieurs années consécutives. D'une manière générale, le caractère rébarbatif du questionnaire augmente avec le nombre d'adultes, dans la mesure où il faut renseigner non seulement les caractéristiques de l'ensemble des véhicules du ménage jusqu'à trois, mais également de l'ensemble des individus du ménage jusqu'à six.

D'autres facteurs exercent une influence sur la probabilité de sélection, toutefois nettement moindre. La probabilité de répondre plusieurs années consécutives est plus élevée dans les générations plus anciennes, est nettement plus faible en cas d'activité professionnelle, décroît avec le niveau d'études, est nettement plus faible dans les zones urbaines denses, en particulier chez les habitants de l'agglomération parisienne et les résidents des villes-centres. L'influence négative de l'activité professionnelle et du niveau d'études sur la probabilité de réponse traduit

vraisemblablement un facteur de valeur du temps – en raison de la rareté du temps disponible chez les actifs et, parmi les actifs, dans les catégories socioprofessionnelles supérieures. Or, le niveau d'études est fortement corrélé à la catégorie socioprofessionnelle dont elle constitue un *proxy*, en raison de son influence sur le niveau de responsabilité professionnelle généralement accessible au sein des établissements tant publics que privés.

Compte tenu d'une taille restreinte et d'une structure potentiellement biaisée, il peut alors être nécessaire de corriger la pondération du sous-échantillon retenu pour l'inférence statistique pour le rendre à nouveau représentatif de la population, en se calant sur l'échantillon initial. Initialement, les poids sont définis au niveau des observations (*i.e. individu*année*) plutôt qu'au niveau des individus, car ils sont recalculés chaque année de manière à assurer la représentativité annuelle de l'échantillon par rapport à la population de référence. Toutefois, la sélection n'a pas été effectuée à partir des caractéristiques des observations mais à partir des caractéristiques individuelles. Une possibilité consiste à redéfinir des poids individuels modifiés en additionnant les pondérations de l'ensemble des observations appartenant à un individu déterminé. La pondération individuelle est alors exprimée en *individu*an*. On cherche alors à rendre la pondération de l'échantillon d'individus sélectionnés exprimée en *individu*an*, représentative de l'échantillon initial, pondéré également en *individu*an*.

Le problème le plus sérieux qui puisse se poser est toutefois l'existence de sélection endogène. Celui-ci se produit dès lors que la probabilité pour une observation d'être incluse dans l'échantillon dépend du phénomène à expliquer, ou lui est corrélée. Pour une présentation détaillée du problème de sélection endogène, voir l'annexe 3.

Afin de corriger le problème de sélection endogène, il est possible d'utiliser un modèle de sélection en deux étapes de Heckman (1979). Toutefois, l'application d'une méthode en deux étapes s'avèrerait ici très lourde à mettre en œuvre, compte tenu de la multiplicité des modèles segmentés par sexe et par niveau – permis, motorisation, usage. De plus, un modèle de sélection de type *Tobit II* est encore appliqué ultérieurement pour tester le caractère séquentiel du processus de décision de motorisation et d'usage. On a donc préféré utiliser une méthode plus simple de repondération, en supposant l'absence de sélection endogène. Ce point de vue est *a priori* rendu crédible par le grand nombre de variables explicatives prises en compte dans la modélisation, qui s'est efforcée de traduire l'ensemble des facteurs connus et imaginables de l'auto-mobilité, ce qui limite le risque d'omission de variables importantes. De plus, même si on n'en a pas présenté ici les résultats, dans la mesure où ils demanderaient à être consolidés, les premières tentatives de prévision montrent que les niveaux de diffusion du permis de conduire et d'accès à un véhicule personnel sont correctement reconstitués par application du modèle.

III.2.b.3) Repondération de l'échantillon

Pour repondérer l'échantillon et le rendre représentatif de l'échantillon initial, on a utilisé ici une méthode simplifiée, dans laquelle on utilise le nombre d'adultes du ménage comme critère de repondération, que l'on applique aux poids individuels exprimés en *individu*an*. Le nombre d'adultes du ménage peut être considéré comme un *proxy* pour le nombre de véhicules, qui est plutôt utilisé comme facteur de repondération dans Collet (2007). Cependant, contrairement au nombre de véhicules, il peut être utilisé comme facteur explicatif sans générer de causalité circulaire. En effet, la motorisation étant une variable à modéliser, il est ennuyeux de supposer que le nombre de véhicules influe sur la probabilité d'avoir le permis de conduire, par exemple, ou sur la probabilité de motorisation des détenteurs du permis de conduire. L'utiliser comme facteur de l'attrition revient à supposer le taux de motorisation connu alors qu'on cherche précisément à le

modéliser. On a donc préféré utiliser le nombre d'adultes du ménage comme critère principal de l'attrition. Comme pour la sélection initiale, les poids des observations de la sélection exprimés en *individus*an* sont recalculés en les multipliant par l'inverse du taux de sélection différencié selon le nombre d'adultes. Une amélioration possible consisterait à utiliser la méthode des scores de propension (*Battistin et al., 2003*).

III.2.c) Les modèles utilisés

III.2.c.1) Spécification des modèles d'usage

Les modèles de permis et de motorisation des détenteurs du permis

Afin de modéliser la probabilité pour un individu adulte i à une période t d'avoir le permis de conduire, ou celle d'un individu adulte titulaire du permis de conduire d'être l'utilisateur principal d'un véhicule, on utilise des modèles de choix dichotomique sur données de panel. Dans ces modèles, la probabilité de réalisation de l'évènement modélisé – avoir le permis dans le premier cas, être motorisé dans le second – est une fonction de l'utilité latente d'effectuer ce choix, qui est spécifiée de la manière suivante :

$$Y_{it}^* = \beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i + u_{it}, \text{ avec :}$$

$$Y_{it} = 1 \Leftrightarrow Y_{it}^* \geq 0$$

$$Y_{it} = 0 \Leftrightarrow Y_{it}^* < 0$$

Dans cette formulation, Y_{it}^* représente la variable latente d'utilité de l'état modélisé – détention du permis ou motorisation – tandis que les Z_i représentent des variables invariantes dans le temps telles que la génération et le sexe, et les X_{it} des variables variant à la fois dans la dimension temporelle et dans la dimension individuelle comme les revenus, les prix du carburant, ou encore l'existence d'une activité professionnelle, par exemple. D'autre part, α_i représente un effet permanent spécifique à chaque individu – reflétant par exemple des préférences personnelles - et u_{it} constitue un terme d'erreur distribué de manière équivalente à travers l'ensemble des observations, quels que soient les individus et quelle que soit la période, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une perturbation supposée homo-scédastique, dont la variance est normalisée et égale à 1. De plus, les perturbations u_{it} sont supposées indépendantes entre elles, même au cours du temps pour un même individu, c'est-à-dire qu'elles sont supposées non-auto-corrélées, et indépendantes des variables explicatives du modèle, ou encore exogènes.

Les équations suivantes expriment la relation entre l'utilité de l'évènement et sa réalisation, à savoir que l'évènement est réalisé lorsque son utilité est positive, et n'est pas réalisé dans le cas contraire. Par ailleurs, la distribution du terme u_{it} est supposée suivre une certaine loi – que l'on supposera le plus souvent normale ou logistique - qui permet de déterminer les modalités de passage de la composante déterministe de l'utilité – c'est-à-dire $\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i$, α_i étant fixé – à la probabilité de réalisation de l'évènement.

Par exemple, dans le cas où la perturbation u_{it} suit une loi logistique, on aura :

$$P(Y_{it} = 1) = \Lambda(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)}}$$

Dans cette expression, $P(Y_{it} = 1)$ représente la probabilité de réalisation de l'évènement, et $\Lambda(.)$ la fonction de répartition de la loi logistique. De même, dans le cas où la perturbation u_{it} suit une loi normale, on aura :

$P(Y_{it} = 1) = \Phi(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)$, expression dans laquelle $\Phi(.)$ représente la fonction de répartition de la loi normale standard.

Le modèle d'utilisation des véhicules chez les utilisateurs principaux

Dans le cas du modèle de kilométrage parcouru par les véhicules dont chaque adulte est l'utilisateur principal, la formulation du modèle est la suivante :

$$y_{it} = \beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i + u_{it} = \beta X_{it} + \delta Z_i + \varepsilon_{it}$$

Il s'agit donc d'un modèle linéaire, dans lequel l'utilisation des véhicules est une fonction des mêmes variables que précédemment, auxquelles on a ajouté les prix à la pompe du carburant, ou alternativement, les coûts d'usage des véhicules¹⁰⁷. De façon équivalente, on peut utiliser, au lieu des variables y_{it} , X_{it} et Z_i , leurs logarithmes naturels, ce qui permet d'interpréter directement les paramètres du modèle comme des élasticités. Pour davantage de précisions sur ces modèles, on renvoie à l'annexe 4 sur les modèles sur données de panel.

III.2.c.2) Le choix entre effets fixes et effets aléatoires

Cependant, les spécifications précédentes peuvent être déclinées de deux manières différentes, selon qu'on considère que les effets individuels α_i présentent la nature d'effets fixes ou d'effets aléatoires. La différence entre effets fixes et effets aléatoires réside en fait dans les hypothèses plus ou moins restrictives que l'on émet sur la distribution des effets individuels α_i . Dans le modèle à effets fixes, on n'émet aucune hypothèse restrictive sur la distribution des effets individuels. De ce fait, les effets individuels représentent autant de paramètres supplémentaires à estimer par le modèle, en plus des paramètres d'intérêt¹⁰⁸. Dans le modèle à erreurs composées, au contraire, on impose certaines contraintes sur la distribution des effets individuels. On peut supposer par exemple qu'ils sont distribués selon une loi normale d'espérance nulle conditionnellement aux variables exogènes, c'est-à-dire qu'ils sont indépendants des variables explicatives du modèle, mutuellement indépendants, et de variance σ_α^2 . Dans ce cas, les effets individuels peuvent être représentés sous la forme d'une perturbation aléatoire, et il n'est plus nécessaire de les estimer individuellement, mais seulement d'estimer les paramètres de leur distribution, en l'occurrence leur variance dans l'exemple qui précède. Dans ce modèle, la perturbation ε_{it} est donc constituée de deux termes, une perturbation individuelle permanente α_i et une perturbation locale ou idiosyncratique u_{it} .

Dans le cadre du modèle linéaire sur données de panel, *Mundlak (1978)* a montré que l'estimateur des paramètres d'intérêt dans le modèle à effets fixes n'était autre que l'estimateur *within*, qui ne prend donc en considération que la variabilité des observations dans la dimension longitudinale.

¹⁰⁷ Dans cette expression, les différentes notations ont la même signification que précédemment.

¹⁰⁸ Associés aux variables explicatives.

Cet estimateur présente l'avantage sur les autres estimateurs, tels que l'estimateur des moindres carrés quasi-généralisés (MCQG) utilisé pour l'estimation des modèles à erreurs composées, d'être sans biais, car les effets individuels disparaissent lorsqu'on raisonne en variations intra-individuelles. Sa consistance est donc indépendante de la distribution des effets individuels. A l'inverse, *Mundlak (1978)* a montré que l'estimateur des MCQG du modèle linéaire à erreurs composées était biaisé dès lors que les hypothèses de distribution des effets individuels mentionnées plus haut n'étaient pas respectées.

L'absence d'hypothèses restrictives sur la distribution des effets individuels peut paraître à première vue comme un avantage en faveur du choix d'un modèle linéaire à effets fixes pour l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés, dans la mesure où elle assure la consistance des estimations de manière plus robuste, sans recourir à des hypothèses difficilement vérifiables dans la pratique. Toutefois, le modèle linéaire à erreurs composées présente des avantages significatifs sur le modèle à effets fixes, qui conduisent à en privilégier l'usage, que nous indiquons à présent :

- Il permet une estimation plus précise des paramètres, en utilisant toute la variance des observations, et non seulement la variance dans la dimension longitudinale, et en pondérant ces deux dimensions de manière optimale. De ce fait, l'estimateur des MCQG du modèle à erreurs composées représente un estimateur « efficace » des paramètres, c'est-à-dire qu'au sein de la gamme des estimateurs linéaires non-biaisés, il est celui qui minimise la variance des estimations, ou de manière équivalente, qu'il en maximise la précision. A l'inverse, l'estimateur *within* est peu précis en raison de la faible durée d'observation des individus dans le panel¹⁰⁹ ;
- Bien que sans biais, les estimations *within* s'apparentent le plus souvent à des estimations de court terme au point de vue dynamique, compte tenu de la faible durée de conservation des individus dans le panel en moyenne, tandis que les estimations *between* sont plus fréquemment assimilées à des estimations de long terme¹¹⁰, car supposées refléter la formation d'un équilibre à long terme. Les modèles à erreurs composées permettent de disposer des deux types d'estimation et de les comparer, et donc de détecter l'existence éventuelle de dynamiques à long terme qui ne seraient pas prises en compte dans le cadre de l'estimation du modèle à effets fixes ;
- Le modèle à erreurs composées permet d'estimer des paramètres pour l'ensemble des variables explicatives, y compris les variables invariantes dans le temps telles que la génération et le sexe, qui sont particulièrement structurantes dans l'analyse des déterminants de l'auto-mobilité (cf. section III.1). A contrario, le modèle à effets fixes ne permet pas l'estimation des paramètres associés aux variables permanentes, puisqu'il est basé exclusivement sur l'exploitation de la dimension longitudinale ;
- Il permet également l'estimation d'effets marginaux et d'élasticités, ce que ne permet pas le

¹⁰⁹ Une possibilité de contourner cet inconvénient des données de panel est de les organiser en « pseudo-panels » (*Deaton, 1985*), en regroupant les individus de caractéristiques analogues par « cohortes » sur la base de caractéristiques permanentes ou aussi permanentes que possible : sexe, génération, éventuellement lieu de résidence, etc. Il est dans ce cas possible, en traitant les cohortes comme des individus, de disposer de périodes d'observation plus longues, et par conséquent d'estimateurs plus précis dans la dimension longitudinale.

¹¹⁰ Pour une discussion plus détaillée de cette question, voir la section II.3.c et en particulier II.3.c.3.

modèle à effets fixes en raison du problème des paramètres incidents (*Neymann et Scott, 1948*) ;

- Il est de plus adapté à la prévision, contrairement au modèle à effets fixes. En effet, les effets individuels peuvent être simulés à partir de n'importe quel échantillon dès lors qu'on connaît la loi de leur distribution, alors que dans le modèle à effets fixes, les effets sont spécifiques aux individus de l'échantillon ayant servi à l'inférence et ne sont pas transposables. Il pourra donc être utilisé ensuite pour projeter les tendances de l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés à l'horizon 2060, en l'associant aux projections démographiques du modèle OMPHALE de l'INSEE ;
- En autorisant la comparaison entre estimations « transversales » et « longitudinales », il permet également de détecter *a posteriori* la présence d'endogénéité causée par d'éventuelles corrélations entre les effets individuels et les variables explicatives. L'inconvénient d'hypothèses restrictives concernant la distribution des effets individuels doit donc être relativisée, d'autant qu'il est possible d'élargir le cadre global du modèle à erreurs composées en relâchant certaines hypothèses de distribution, par exemple à travers des spécifications de type *Mundlak (1978)* ou *Chamberlain (1982)* ;
- D'une manière générale, il est gênant de ne pouvoir disposer que d'estimations longitudinales dans le cas de certaines variables. C'est le cas en particulier de la variable de revenu dans *ParcAuto*, qui n'est pas connue avec précision mais seulement par tranches, ce qui est à l'origine d'estimations plus imprécises dans la dimension longitudinale que dans la dimension transversale (*cf. section III.1.c*) ;

Pour l'ensemble de ces raisons, les avantages pratiques des modèles linéaires à erreurs composées surpassent donc largement leurs inconvénients. Le principal inconvénient des spécifications à erreurs composées réside dans les hypothèses restrictives qu'elles impliquent sur la distribution des effets individuels, qui sont susceptibles de conduire à des estimations biaisées des paramètres, en présence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives. Toutefois, cet inconvénient pèse peu au regard de l'ensemble de leurs avantages pratiques relevés ci-dessus. Pour l'ensemble de ces raisons, elles apparaissent plus adaptées en dépit de leurs inconvénients techniques, qui ne sont d'ailleurs pas à exagérer, compte tenu des possibilités de relâchement partiel de certaines hypothèses que nous venons d'indiquer, qui rendent ces spécifications très flexibles¹¹¹.

Le choix entre effets fixes et aléatoires se pose de la même manière dans le cadre des modèles de choix dichotomique, pour lesquels le modèle à effets fixes habituellement utilisé est le *logit conditionnel*, et le modèle à effets aléatoires d'usage le plus courant est le *probit à erreurs composées*. Ce sont dans l'ensemble les mêmes arguments qui conduisent à privilégier le recours au *probit à erreurs composées* plutôt qu'au *logit conditionnel* :

- La transférabilité ou la reproductibilité des estimations : contrairement aux modèles à

¹¹¹ L'approche de *Mundlak (1978)*, par exemple, autorise une corrélation entre les effets individuels et les moyennes intra-individuelles des variables explicatives. L'approche de *Chamberlain (1982)* élargit le cadre proposé par *Mundlak (1978)* en autorisant l'espérance des effets individuels à représenter n'importe quelle combinaison linéaire des valeurs passées, présentes et futures des variables explicatives. Ces modèles sont plus robustes à la présence d'endogénéité, mais ces progrès se paient par une perte de précision des estimateurs. Il est donc nécessaire d'arbitrer entre l'exigence de robustesse et celle de précision des estimateurs.

effets fixes, la distribution des effets individuels peut être simulée sur un échantillon quelconque. Ces modèles présentent donc un intérêt pratique pour la simulation ou la prévision ;

- La présence de variables permanentes : les paramètres associés aux variables permanentes, telles que la génération et le sexe, ne peuvent être estimés avec le *logit* conditionnel, puisque ce dernier repose uniquement sur l'analyse de la variance intra-individuelle ;
- Contrairement au modèle à effets fixes, le modèle à erreurs composées permet l'estimation d'effets marginaux et d'élasticités, ce que ne permet pas le modèle à effets fixes en raison du problème des paramètres incidents ;
- Enfin, le choix de spécifications à erreurs composées permet de mettre en cohérence et d'articuler les différents niveaux de modélisation de l'auto-mobilité, avec une homogénéité méthodologique qui rend possible l'articulation des modèles de choix discret avec un modèle linéaire. En particulier, l'estimation d'un modèle joint de motorisation et d'usage, de type *Tobit II*, qui permet de tester l'existence de corrélation entre les niveaux, repose sur une spécification des effets individuels sous la forme de perturbations normales ;

De plus, l'avantage relatif de l'estimateur *within* et du modèle à effets fixes en termes de consistance ne s'applique qu'aux modèles linéaires. Dans le cas des modèles de choix discret, le modèle à effets fixes est également affecté par des problèmes de consistance sévère, résultant du problème des paramètres incidents (*Neymann et Scott, 1948 ; Andersen, 1970 ; Chamberlain, 1980, 1984*). La résolution de ce problème par conditionnement sur une statistique suffisante implique de se placer dans le cadre du modèle *logit*, mais dans ce cas, comme dans le modèle linéaire, l'estimation ne repose plus que sur l'analyse des différences intra-individuelles, ce qui entraîne une perte importante d'information et donc de précision des estimateurs. En outre, ce choix ne résout pas les autres problèmes inhérents au choix d'une spécification à effets fixes mentionnés précédemment : estimation des paramètres des variables permanentes, calcul des effets marginaux et des élasticités, cohérence avec les autres niveaux du modèle, utilisation pour la prévision.

Dans le cas de la modélisation du permis de conduire, le *logit* conditionnel est de plus inapproprié pour une raison supplémentaire. En effet, l'accès au permis étant le plus souvent irréversible, la situation des individus à l'égard du permis de conduire tend à être invariante dans le temps, de sorte que ces individus ne contribuent pas à la log-vraisemblance, entraînant une diminution considérable de l'information utilisable pour l'inférence statistique, et par conséquent de la précision des estimations correspondantes, dans la mesure où l'estimation dans le *logit* conditionnel est basée sur l'exploitation de la seule dimension longitudinale.

Les choix de modèles à erreurs composées présentent donc globalement de sérieux avantages pratiques sur les spécifications à effets fixes, en dépit d'hypothèses distributionnelles restrictives. Il ne faut d'ailleurs pas s'en exagérer les inconvénients, étant donné que l'existence de biais éventuels dans les estimations, ou d'effets dynamiques importants, peut être décelée par la comparaison des estimateurs transversaux et longitudinaux. Observons de plus que ces hypothèses restrictives peuvent aussi être relâchées dans le cadre des modèles de choix discret,

au travers d'approches de type *Mundlak (1978)* ou *Chamberlain (1982)*, par exemple avec le modèle *probit* à erreurs composées corrélées. Le choix d'une hiérarchie de modèles à erreurs composées apparaît donc finalement comme le plus approprié pour la modélisation de l'auto-mobilité.

III.2.c.3) Estimation des modèles

Dans le cas des modèles linéaires sur données de panel, les estimateurs que nous utilisons pour les paramètres des modèles sont l'estimateur des moindres carrés ordinaires (MCO), l'estimateur *between*, l'estimateur *within*, et l'estimateur des *moindres carrés quasi-généralisés (MCQG)*. Dans le cas des modèles dichotomiques, nous utilisons l'estimateur du maximum de vraisemblance, avec comme algorithme de résolution la méthode du score de Fischer. L'approximation de l'intégrale dans la fonction de log-vraisemblance est réalisée par la méthode de quadrature gaussienne. Pour une description technique détaillée de l'ensemble de ces méthodes, on renvoie à l'annexe 4.

Le choix des estimateurs pertinents dépend des variables exogènes et fait intervenir différentes considérations. Pour les variables invariantes dans la dimension temporelle, comme le sexe ou la génération, l'estimateur *within* est sans objet, car ce dernier s'appuie uniquement sur l'analyse de la variabilité dans la dimension longitudinale. De plus, les estimateurs des *mcqg* et *between* sont équivalents. Par conséquent, seul l'estimateur *between* apporte une information utile sur les effets de sexe et de génération.

A l'inverse, pour les variables qui ne varient que dans le temps, comme le prix moyen du carburant, seul l'estimateur *within* a un sens. Dans ce cas, l'estimateur des *mcqg* coïncide avec l'estimateur *within*. Toutefois, dans le cas d'un panel tournant, les individus peuvent être observés à des périodes différentes, de sorte que la valeur moyenne du prix du carburant peut varier d'un individu à l'autre. En outre, les prix peuvent être hétérogènes selon le type de motorisation utilisé par les individus, par exemple entre une motorisation essence et une motorisation *diesel*. Il peut également y avoir de légères différences régionales au niveau des prix à la pompe. Ces différences entre individus sont en outre renforcées par les écarts d'efficacité énergétique des véhicules, entre motorisations notamment.

Enfin, pour l'effet de certaines variables comme le revenu, les variations longitudinales sont faiblement significatives, car en grande partie aléatoires, un problème qui tient à la nature des données, dans la mesure où les revenus sont tirés aléatoirement dans chaque tranche. On utilisera donc plutôt dans ce cas l'estimateur *between*.

La comparaison de l'estimateur *within* du modèle à effets fixes avec les estimateurs *between*, des MCO et des MCQG du modèle à erreurs composées peut aider à détecter la présence d'endogénéité, les estimateurs *between* et des MCQG étant biaisés en présence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives, alors que l'estimateur *within* ne l'est pas. C'est notamment sur cette comparaison que sont basés les tests de *Hausman (1978)* et de *Mundlak (1978)*. Toutefois, cette comparaison ignore dans une large mesure la dimension temporelle des estimations. En effet, toujours en se référant à l'interprétation de *Mundlak (1978)*, l'écart entre estimations *between* et *within* reflète aussi une différence de temporalité, la première étant plus proche d'une estimation de long terme et la seconde d'une estimation de court terme, T étant généralement petit.

III.2.c.4) Effets marginaux et élasticités

Dans la présentation des résultats de la modélisation qui suivent, on estimera des effets marginaux et des élasticités des différentes composantes de l'auto-mobilité par rapport aux variables exogènes, que l'on comparera, le cas échéant, à la littérature, principalement pour les variables économiques de revenus et de prix du carburant ou de coût d'usage des véhicules.

L'effet marginal d'une variable exogène du modèle sur la variable dépendante est défini comme l'effet d'une variation unitaire dans la valeur de la variable exogène. Etant donné leur définition, les effets marginaux peuvent être calculés pour des variables continues mais également pour des variables discrètes, à condition de les définir dans ce cas comme l'effet d'un changement d'état, ou du passage d'une modalité qualitative de la variable à une autre, lorsque ces modalités peuvent être ordonnées. Ainsi, par exemple, dans le cadre d'un modèle linéaire dont la spécification est la suivante :

$$w_{it} = \mu Z_i^3 + \theta X_{it}^3 + \xi_i + r_{it}$$

Les effets marginaux de Z_i^3 et X_{it}^3 sur w_{it} , ξ_i étant fixé, sont donnés respectivement par les valeurs des paramètres du modèle μ et θ .

Dans le cas d'un modèle de choix dichotomique, dont la formule est donnée par :

$w_{it}^* = \mu Z_i^3 + \theta X_{it}^3 + \xi_i + r_{it}$, les effets marginaux respectifs de Z_i^3 et X_{it}^3 sur w_{it}^* sont toujours donnés par les valeurs des paramètres du modèle. En revanche, leurs effets marginaux sur la probabilité de réalisation de l'évènement $P(w_{it} = 1)$ dépendent de la distribution du terme d'erreur r_{it} . Ainsi par exemple, dans le cadre des modèles *probit* à erreurs composés qui seront utilisés pour modéliser les états individuels au regard de l'accès au permis de conduire ainsi qu'à un véhicule personnel parmi les détenteurs du permis de conduire, l'effet marginal de Z_i^3 et X_{it}^3 sur w_{it} , ξ_i étant fixé, sont donnés respectivement par :

$$(E_{X^3})_{it} = \frac{\hat{\mu}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\hat{\mu}Z_i^3 + \hat{\theta}X_{it}^3 + \xi_i)^2}{2}}$$

$$(E_{X_k})_{it} = \frac{\hat{\theta}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\hat{\mu}Z_i^3 + \hat{\theta}X_{it}^3 + \xi_i)^2}{2}}$$

En raison de leur formulation, on montre que ces effets marginaux déclinent tendanciellement au-delà d'un certain seuil dans les valeurs de chacune des variables explicatives, les autres variables étant fixées, ou de la désirabilité de l'état $\hat{\mu}Z_i^3 + \hat{\theta}X_{it}^3 + \xi_i$.

Les élasticités sont définies quant à elle comme un rapport entre variations relatives, par exemple le pourcentage de variation dans la valeur de w_{it} induit par une augmentation de 1 % dans la valeur de X^3 . Bien entendu, selon les termes de cette définition, la notion d'élasticité n'est susceptible de s'appliquer qu'à une variable continue. Formellement, on a :

$$\eta_{w/X^3} = \frac{\partial w}{\partial X^3} * \frac{X^3}{w}$$

En vertu de cette définition, on a dans le cas d'un modèle linéaire :

$$\eta_{w/X^3} = \hat{\theta} \frac{X^3}{w}$$

Le cas d'un modèle double log-linéaire, dans lequel tant la variable dépendante que les variables exogènes sont remplacées par leur logarithme naturel, est intéressant car dans ce cas, les paramètres du modèle peuvent directement être interprétés comme des élasticités.

Dans le cas d'un modèle *probit* à erreurs composées, l'élasticité de w_{it} par rapport à X_{it}^3 pourra ainsi être définie par :

$$\eta_{p_i/X_k} = \hat{\theta} X_{it}^3 \frac{\varphi(\hat{\mu} Z_i^3 + \hat{\theta} X_{it}^3 + \xi_i)}{\Phi(\hat{\mu} Z_i^3 + \hat{\theta} X_{it}^3 + \xi_i)}$$

Cependant, dans le cas d'une spécification à erreurs composées, les ξ_i ne sont pas connus, de sorte qu'on s'intéresse moins au calcul des effets marginaux et des élasticités conditionnellement à ξ_i qu'à leurs valeurs inconditionnelles, seules les valeurs des variables explicatives étant supposées connues. Dans ce cas, il est nécessaire, pour estimer les effets marginaux et les élasticités en un point, d'intégrer leurs estimations conditionnelles sur la distribution des effets individuels, qui est connue. Ainsi, dans l'exemple précédent, l'élasticité inconditionnelle sera obtenue par :

$$\eta_{p_i/X_k} = \hat{\theta} X_{it}^3 \int_{\xi_i} \frac{\varphi(\hat{\mu} Z_i^3 + \hat{\theta} X_{it}^3 + \xi_i)}{\Phi(\hat{\mu} Z_i^3 + \hat{\theta} X_{it}^3 + \xi_i)} g(\xi_i) d\xi_i$$

Dans cette expression, $g(\xi_i)$ représente la densité de la loi de distribution des ξ_i . Compte tenu de la forme attribuée à cette distribution dans le cadre du modèle *probit* à erreurs composées, qui est celle d'une loi normale, cette distribution est connue après estimation des paramètres du modèle, qui contiennent notamment les paramètres de la distribution des effets individuels, en l'occurrence le paramètre de variance de la distribution.

En pratique toutefois, cette intégrale ne peut être évaluée que de manière approchée, ce que l'on peut réaliser par une technique de simulation, en faisant l'approximation :

$$\eta_{p_i/X_k} = \frac{\hat{\theta} X_{it}^3}{N} \sum_{n=1}^N \frac{\varphi(\hat{\mu} Z_i^3 + \hat{\theta} X_{it}^3 + \xi_i)}{\Phi(\hat{\mu} Z_i^3 + \hat{\theta} X_{it}^3 + \xi_i)} g(\xi_i)$$

C'est-à-dire en utilisant un nombre fini de points pour évaluer l'intégrale. Si on souhaite à nouveau obtenir une valeur moyenne de l'élasticité sur l'ensemble de la population, il faudra effectuer la moyenne des élasticités en chaque point. Tout comme les effets marginaux, les élasticités dans les modèles dichotomiques déclinent au-delà d'un certain niveau de la variable explicative ou, de manière équivalente, de la désirabilité de l'état. A mesure donc que les élasticités déclinent dans l'ensemble de la population, l'élasticité moyenne décroît également, ce qui permet bien de représenter un processus de diffusion qui converge vers la saturation.

III.2.d) Résultats de la modélisation

L'adjonction des effets individuels permet de relâcher les contraintes sur la structure d'erreur, en tenant compte de l'existence de caractéristiques individuelles permanentes non-observées susceptibles d'exercer une influence sur la variable dépendante. De ce fait, elle permet également d'obtenir des estimateurs efficaces des paramètres, alors que l'estimateur des MCO, dans le cas de données de panel, est consistant mais pas efficace. Le modèle est segmenté en fonction du sexe, de manière à pouvoir ensuite raisonner par intégration verticale pour chaque sexe sur les différents niveaux de l'auto-mobilité. Par ailleurs, on a intégré dans la séquence des modèles « femmes » une variable indicatrice de l'existence d'une vie de couple, afin d'évaluer la différence de comportement entre les femmes seules et les femmes vivant en couple, à l'exception du modèle de permis de conduire. En effet, on a montré dans la section III.1 que l'existence d'une vie de couple exerçait une influence significative sur la probabilité de motorisation des titulaires du permis, aussi bien chez les hommes que chez les femmes, quoi que dans des directions opposées, celle-ci étant positive pour les hommes – compte tenu de la fonction en partie collective du véhicule dont l'homme est identifié comme l'utilisateur principal, qui est aussi le « véhicule principal » du ménage – et négative pour les femmes, surtout dans les générations plus anciennes, les femmes ayant dû pendant longtemps effectuer un choix entre vie familiale et responsabilités professionnelles. L'existence d'une vie de couple semble également exercer une influence positive chez les hommes sur l'utilisation des véhicules dont ils sont l'utilisateur principal, alors que cette influence est non-significative chez les femmes qui ont accès à un véhicule dont elles sont l'utilisatrice principale.

III.2.d.1) Probabilité d'avoir le permis de conduire

Estimation des paramètres

Paramètre	Estimation	Erreur-type	Intervalle de confiance		P > (t)
G ₀₋₁ (< 1920)	3,22	0,18	2,87	3,57	<.0001
G ₂₋₃ (1920-30)	3,60	0,15	3,31	3,88	<.0001
G ₄₋₅ (1930-40)	6,31	0,17	5,98	6,63	<.0001
G ₆₋₇ (1940-50)	6,28	0,17	5,94	6,62	<.0001
G ₈₋₉ (1950-60)	4,10	0,15	3,80	4,40	<.0001
G ₁₀₋₁₁ (1960-70)	6,19	0,18	5,84	6,55	<.0001
G ₁₂₋₁₃ (1970-80)	4,41	0,24	3,95	4,88	<.0001
G ₁₄₋₁₆ (> 1980)	2,75	0,18	2,39	3,10	<.0001
< Bac	-0,53	0,06	-0,66	-0,40	<.0001
18 - 20 ans	-1,82	0,22	-2,25	-1,38	<.0001
20 - 25 ans	-0,83	0,14	-1,11	-0,55	<.0001
Log-densité	-0,09	0,02	-0,12	-0,055	<.0001
Niveau de vie	0,000016	2,908E-6	0,000010	0,000021	<.0001
σ_{η}^2	10,01	0,60	8,83	11,19	<.0001

Tableau 25 : Table des paramètres, modèle de probabilité d'être titulaire du permis de conduire avec effets spécifiques individuels – modèle hommes

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Chez les hommes, la probabilité d'avoir le permis de conduire augmente, toutes choses égales par ailleurs, de la génération G_{0-1} (< 1920) à la génération G_{4-5} (1930-40), puis se stabilise jusqu'à la génération G_{10-11} (1960-70), enfin décroît au-delà. Les effets d'âge sont significatifs en deçà de vingt-cinq ans, et les personnes dont le niveau d'études est strictement inférieur au bac ont, toutes choses égales par ailleurs, une probabilité moindre d'être titulaires du permis de conduire. Les effets de la log-densité et du niveau de vie sont significatifs et de signes attendus, c'est-à-dire que la probabilité d'avoir le permis de conduire décroît des zones les moins denses vers les zones les plus denses, et augmente avec le niveau de revenu. Enfin, la variance des effets individuels est significative, indiquant l'existence d'effets spécifiques individuels.

Paramètre	Estimation	Erreur-type	Intervalle de confiance		$p > (t)$
G_{0-1} (< 1920)	-0,37	0,18	-0,71	-0,02	0.036
G_{2-3} (1920-30)	0,31	0,11	0,10	0,52	0.0038
G_{4-5} (1930-40)	3,89	0,11	3,67	4,10	<.0001
G_{6-7} (1940-50)	4,15	0,11	3,94	4,37	<.0001
G_{8-9} (1950-60)	4,33	0,12	4,10	4,56	<.0001
G_{10-11} (1960-70)	4,39	0,12	4,16	4,62	<.0001
G_{12-13} (1970-80)	4,35	0,13	4,08	4,61	<.0001
G_{14-16} (> 1980)	3,38	0,16	3,08	3,69	<.0001
< Bac	-0,39	0,044	-0,47	-0,30	<.0001
18-20 ans	-1,94	0,16	-2,26	-1,63	<.0001
20-25 ans	-0,98	0,12	-1,22	-0,74	<.0001
Log-densité	-0,081	0,013	-0,11	-0,06	<.0001
Niveau de vie	0,000014	2,132E-6	9,343E-6	0,000018	<.0001
σ_{η}^2	16,48	0,41	15,67	17,30	<.0001

Tableau 26 : Table des paramètres, modèle de probabilité d'être titulaire du permis de conduire avec effets spécifiques individuels – modèle femmes

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Chez les femmes, la probabilité d'être titulaire du permis de conduire continue d'augmenter, toutes choses égales par ailleurs, jusqu'à la génération G_{10-11} (1960-70), donc beaucoup plus tardivement que pour les hommes, puis décroît ensuite jusqu'à la génération G_{14-16} (> 1980). Le recul de la probabilité d'avoir le permis de conduire au sein des générations de femmes nées après 1970 est toutefois moins prononcé que celui qu'on observe chez les hommes. Un niveau d'études inférieur au bac exerce également, toutes choses égales par ailleurs, une influence négative sur la probabilité de détenir le permis de conduire chez les femmes, ainsi que le fait pour une femme d'être âgée de moins de vingt-cinq ans. Les influences respectives de la densité et du niveau de vie sur la probabilité d'avoir le permis de conduire sont également significatives et de signe attendu. Les valeurs des paramètres sont dans l'ensemble comparables à celles qu'on observe chez les hommes. En revanche, la variance des effets individuels est plus importante que celle qu'on observe chez les hommes, attestant de l'existence de comportements plus hétérogènes, en lien avec des facteurs non-observés, ce qui est cohérent avec le constat que l'on peut effectuer d'une diffusion du permis qui demeure en retrait par rapport à celle qu'on observe chez les hommes, au moins dans les générations plus anciennes.

Effets marginaux et élasticités

	Effet marginal de changement de génération – Hommes	Effet marginal de changement de génération - Femmes	Effet marginal de changement de génération - Tous	Effet marginal de genre, par génération	Autres effets marginaux
G ₀₋₁ (< 1920)	0,034	0,067	0,052	-0,410	
G ₂₋₃ (1920-30)	0,143	0,348	0,262	-0,340	
G ₄₋₅ (1930-40)	-0,0006 (NS)	0,019	0,010	-0,097	
G ₆₋₇ (1940-50)	-0,099	0,012	-0,045	-0,096	
G ₈₋₉ (1950-60)	0,083	0,004	0,055	0,022	
G ₁₀₋₁₁ (1960-70)	-0,080	-0,002 (NS)	-0,038	-0,072	
G ₁₂₋₁₃ (1970-80)	-0,131	-0,067	-0,097	-0,003 (NS)	
G ₁₄₋₁₆ (> 1980)	-	-	-	0,064	
18-20 vers 20-25 ans	0,106	0,099	0,103	-	
20-25 vers au-delà	0,074	0,084	0,080	-	
< Bac à Bac	-0,028	-0,027	-0,028	-	
Elasticité à la log-densité	-0,143	-0,388	-0,272	-	
Elasticité au revenu	+0,070	+0,178	+0,127	-	

Tableau 27 : Table des effets marginaux et des élasticités dans le modèle probit à erreurs composées – modèle de la probabilité d’avoir le permis de conduire

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Après avoir estimé les paramètres, on calcule les effets marginaux et les élasticités en valeur moyenne sur l’ensemble de l’échantillon (cf. section III.2.c.4 et annexe 4 pour la méthode de calcul). Hommes et femmes confondus, les effets marginaux de changement de génération sont importants lorsqu’on passe de la génération G₀₋₁ (< 1920) à la génération G₂₋₃ (1920-30), avec une progression de + 5,2 points, mais surtout entre la génération G₂₋₃ (1920-30) et la génération G₄₋₅ (1930-40), avec une croissance de + 26,2 points, marquant une rupture au sein des générations nées juste avant la guerre. Ils sont en revanche négligeables entre les générations G₄₋₅ (1930-40) et G₁₀₋₁₁ (1960-70), puis l’effet marginal devient négatif lors du passage de la génération G₁₀₋₁₁ (1960-70) à la génération G₁₄₋₁₆ (> 1980), avec un recul total de -10,4 points de la probabilité d’avoir le permis de conduire, toutes choses égales par ailleurs. L’effet marginal de changement d’âge n’est quasiment pas différencié selon le sexe, avec une progression globale de + 10,3 points pour le passage de la tranche d’âge 18-20 ans à la tranche d’âge 20-25 ans, puis + 8 points pour le passage de la tranche d’âge 20-25 ans à la tranche d’âge 25-30 ans, la progression du taux de détenteurs du permis avec l’âge étant un peu plus rapide chez les hommes.

L’effet marginal d’un niveau de diplôme inférieur au bac est faible, et estimé à - 2,8 points : il est en outre homogène entre hommes et femmes. En revanche, les effets de localisation et de niveau de vie sont nettement plus importants chez les femmes que chez les hommes. Globalement évaluées à - 0,27 et + 0,13, les élasticités moyennes de la probabilité d’avoir le permis de conduire, respectivement à la log-densité et au niveau de vie du ménage, s’élèvent à - 0,39 et à + 0,18 chez les femmes, contre seulement - 0,14 et + 0,07 chez les hommes. Elles sont donc quasiment trois fois plus élevées chez les femmes. De même, l’effet cumulé du passage de la génération G₀₋₁ (< 1920) à la génération G₁₀₋₁₁ (1960-70) est estimé à + 33,4 points globalement, mais à + 45 points pour les femmes, contre seulement + 17,5 points pour les hommes. La majeure partie de cette progression se situe toutefois entre les générations G₀₋₁ (< 1920) et G₄₋₅ (1930-40), y compris chez les femmes, les évolutions dans les générations suivantes étant beaucoup plus progressives. Une véritable rupture semble avoir eu lieu dans les générations nées juste avant la guerre pour ce qui

est de la propension à passer le permis de conduire. Compte tenu de l'hétérogénéité intergénérationnelle de la probabilité d'avoir le permis de conduire chez les femmes, l'effet marginal de genre est très élevé dans les générations nées avant 1930, puis décroît graduellement pour disparaître complètement à partir de la génération G_{8-9} (1950-60). Une partie de l'écart entre hommes et femmes qui persiste jusqu'à la génération G_{12} (1970-75) s'explique donc par d'autres facteurs.

Parmi ces derniers, la préparation gratuite aux examens du permis de conduire assurée dans le cadre du service militaire obligatoire pourrait avoir joué un rôle essentiel puisque l'ensemble des générations nées avant 1970 ont pu en bénéficier, la proportion de chaque génération qui en a bénéficié déclinant ensuite jusqu'à celles nées en 1979, qui n'en ont plus bénéficié du tout. Or, cette préparation gratuite contribuait tout à la fois à réduire les inégalités d'accès au permis de conduire des hommes en fonction de leur milieu social d'origine, à élever le niveau global d'accès au permis de conduire chez les hommes, et à entretenir une différence d'accès au permis de conduire entre les hommes et les femmes. Cet écart semble avoir disparu dans la « génération Y », qui est arrivée à l'âge adulte après la suppression du service militaire obligatoire, dont les conséquences pratiques pourraient être une dégradation du niveau d'accès des jeunes hommes au permis de conduire, en particulier chez les hommes des milieux populaires.

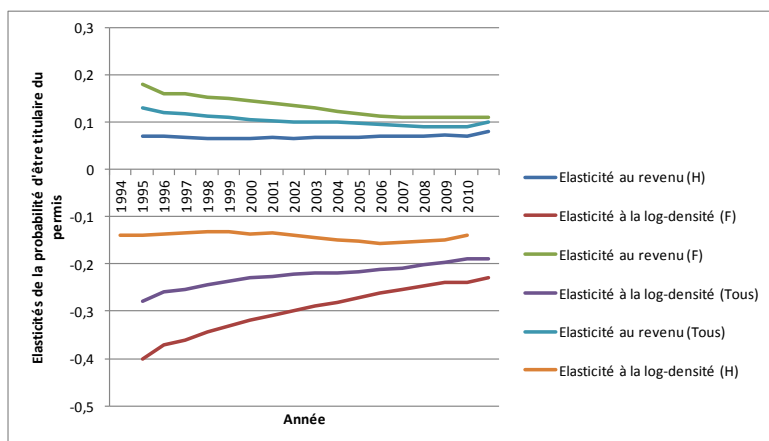
	Elasticité à la log-densité (H)	Elasticité au revenu (H)	Elasticité à la log-densité (F)	Elasticité au revenu (F)
1 ^{er} quartile (Q1)	-0,16	+0,04	-0,29	+0,06
2 ^e quartile (Q2)	-0,14	+0,06	-0,29	+0,12
3 ^e quartile (Q3)	-0,14	+0,08	-0,29	+0,16
4 ^e quartile (Q4)	-0,13	+0,11	-0,29	+0,23
Villes-centres	-0,18	+0,07	-0,40	+0,16
Banlieues	-0,17	+0,08	-0,34	+0,15
Espaces diffus	-0,10	+0,06	-0,18	+0,11
Communes rurales	-0,08	+0,05	-0,15	+0,10
< 100 000 h	-0,14	+0,07	-0,26	+0,12
100 – 200 000 h	-0,19	+0,07	-0,36	+0,14
200 000 à 2 000 000 h	-0,18	+0,07	-0,38	+0,15
Agglomération de Paris	-0,21	+0,10	-0,42	+0,55

Tableau 28 : élasticités de la probabilité d'avoir le permis de conduire au revenu et à la log-densité, par zone de résidence et quartile de niveau de vie, modèles hommes et femmes

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'élasticité au revenu de la probabilité d'avoir le permis de conduire augmente avec la densité urbaine. Elle est ainsi plus faible chez les résidents des espaces d'urbanisation diffuse que chez les habitants des agglomérations, surtout chez les femmes, avec une élasticité au revenu de la probabilité d'avoir le permis de conduire de + 0,11 chez les résidentes des espaces d'urbanisation diffuse, contre + 0,15 pour les résidentes des agglomérations. Elle augmente aussi avec la taille de l'aire urbaine, que ce soit chez les hommes ou chez les femmes. Par exemple, pour les hommes, elle augmente de + 0,05 chez les habitants des communes rurales à + 0,10 pour l'agglomération parisienne ; chez les femmes, ces chiffres s'élèvent à respectivement + 0,10 et + 0,55. On observe que la probabilité d'avoir le permis de conduire est beaucoup plus fortement corrélée au niveau de vie dans l'agglomération parisienne que sur le reste du territoire, surtout chez les femmes. Les femmes issues de milieux modestes tendent donc, dans les territoires les plus densément urbanisés, à différer le passage des examens du permis de conduire, voire à y renoncer. Cette facilité, liée aux alternatives à la voiture dont elles disposent dans ces zones, est ambivalente du point de vue de sa signification sociale, dans la mesure où elle est susceptible de générer, à plus long terme, des situations d'exclusion, découlant de la perte de motilité qui en résulte – les données de l'Enquête Nationale Transports montrent ainsi que les personnes ne disposant pas du permis de conduire ont en moyenne une mobilité plus faible que les autres – ainsi qu'une restriction des univers de choix individuels, que ce soit en matière de choix modal (captivité à l'égard des modes alternatifs à la voiture) ou en matière de choix résidentiel (sélection des zones faiblement captives de l'automobile).

On observe également qu'au sein des agglomérations, et en particulier des grandes agglomérations, les comportements sont plus hétérogènes en fonction de la densité que dans les autres territoires. D'une manière générale, les zones denses sont caractérisées par une plus forte hétérogénéité des niveaux d'accès au permis de conduire, en raison de l'éventail des possibilités alternatives à la voiture qui est offert aux individus. En outre, l'influence de la densité sur la probabilité d'avoir le permis de conduire est nettement plus élevée que celle du niveau de vie. Cependant, l'influence des contraintes financières, du potentiel de mobilité alternative et de l'environnement bâti sur la probabilité d'avoir le permis de conduire est nettement plus importante chez les femmes que chez les hommes.



Graphique 64 : évolutions annuelles des élasticité de la probabilité d'avoir le permis de conduire
Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Compte tenu de la convergence progressive vers la saturation du processus de diffusion du permis de conduire, on peut s'attendre, étant donné la forme fonctionnelle des élasticités (*cf. section III.2.c.4 et annexe 4*) dans le cadre d'un modèle de choix discret, à un déclin tendanciel des élasticités. De fait, c'est bien ce qu'on observe pour les femmes, avec par exemple une élasticité au revenu de la probabilité d'avoir le permis de conduire qui décroît de + 0,18 en 1994 à + 0,11 en 2010, et une élasticité à la log-densité qui décroît de - 0,40 à - 0,23. Cependant, on peut aussi s'attendre à ce que ce déclin ralentisse et que celles-ci deviennent stationnaires lorsque le stade de saturation sera atteint. Cette situation correspond plutôt à celle qu'on observe chez les hommes, pour lesquels l'élasticité au revenu demeure stationnaire, très proche d'un niveau nul, fluctuant entre + 0,06 et + 0,08. De même, l'élasticité à la log-densité de la probabilité d'avoir le permis de conduire chez les hommes fluctue entre - 0,13 et - 0,16. Les élasticités observées chez les hommes correspondent donc à des niveaux asymptotiques, qui nous renseignent sur les seuils de saturation. Il en ressort que même alors que la saturation est atteinte, un certain degré d'hétérogénéité subsiste dans la diffusion du permis de conduire. Des ressources financières insuffisantes continuent de constituer une entrave à l'accès au permis de conduire chez les plus modestes, et un lieu de résidence en zone urbaine dense implique une diffusion moindre, soit en permettant de différer/renoncer à passer les examens du permis de conduire, soit en attirant les personnes ne disposant pas du permis de conduire qui en font leurs lieux de résidence prioritaires¹¹². Il existe de ce fait un seuil incompressible de personnes n'ayant pas leur permis de conduire, constitué en partie d'un volume permanent de situations transitoires et en partie de situations durables. Une possibilité d'amélioration du modèle consisterait donc à introduire de la flexibilité dans la fixation des seuils de saturation, de manière à les ajuster empiriquement aux observations, comme dans les formes fonctionnelles de *Chapman-Richards* (*Collet, 2012 ; Grimal et al., 2013*).

Globalement, hommes et femmes confondus, l'élasticité au revenu de la probabilité d'avoir le permis de conduire décroît de + 0,13 à + 0,10, et l'élasticité à la log-densité de - 0,28 à - 0,19 sur l'ensemble de la période d'observation. Le recours à des modèles de choix discret permet donc de rendre compte du déclin tendanciel des élasticités souvent relevé dans la littérature (*Goodwin et al., 2004*). Celui-ci est une conséquence naturelle du processus de diffusion d'une aménité - un droit comme dans le cas du permis de conduire, ou un bien d'équipement comme l'automobile - qui converge vers la saturation au-delà d'un certain stade de diffusion.

¹¹² Le problème de l'auto-sélection résidentielle est présenté dans la section II.2.b.1.

III.2.d.2) Probabilité de motorisation des titulaires du permis de conduire

Estimation des paramètres

Paramètre	Estimation	Erreur-type	Intervalle de confiance		P > (t)
18-20 ans	0,39	0,28	-0,15	0,93	0.16
20-25 ans	1,38	0,16	1,08	1,69	<.0001
25-30 ans	1,51	0,14	1,24	1,78	<.0001
30-35 ans	1,62	0,13	1,37	1,89	<.0001
35-40 ans	1,73	0,14	1,46	1,99	<.0001
40-45 ans	1,80	0,14	1,52	2,07	<.0001
45-50 ans	1,94	0,14	1,66	2,22	<.0001
50-55 ans	2,10	0,14	1,81	2,38	<.0001
55-60 ans	2,30	0,14	2,02	2,58	<.0001
60-65 ans	2,55	0,15	2,26	2,83	<.0001
65-70 ans	2,55	0,15	2,26	2,84	<.0001
70-75 ans	2,58	0,15	2,29	2,87	<.0001
75-80 ans	2,24	0,15	1,94	2,53	<.0001
80-85 ans	1,65	0,17	1,33	1,97	<.0001
85-90 ans	0,75	0,21	0,34	1,16	0.0003
90-95 ans	0,23	0,41	-0,57	1,03	0.58
> 95 ans	-1,45	0,67	-2,77	-0,13	0.031
Niveau de vie	0,000012	1,90E-006	7,88E-006	0,000015	<.0001
Log-densité	-0,091	0,014	-0,12	-0,064	<.0001
Vie de couple	0,17	0,077	0,023	0,32	0.024

Tableau 29 : Table des paramètres, modèle de motorisation des détenteurs de permis avec effets spécifiques individuels, modèle hommes

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Dans le modèle « hommes », les effets de génération ne sont pas significatifs pour ce qui est de la motorisation des titulaires du permis, ce qui recoupe les résultats de l'analyse descriptive présentée dans la section III.1. De ce fait, ils ne sont pas présentés dans le tableau ci-dessus. Les

variables incluses dans le modèle sont donc l'âge, le niveau de vie, la densité, l'existence d'une vie de couple, ainsi qu'un *trend* temporel à partir de l'an 2000. Celui-ci est introduit pour l'estimation du modèle. Toutefois, il constitue un inconvénient pour son utilisation du modèle à des fins de prévision, dans la mesure où il ne saurait se prolonger indéfiniment, et l'introduction d'un *trend* postérieur à l'an 2000 présente un caractère quelque peu arbitraire. Les résultats disponibles suggèrent d'ailleurs un ralentissement dans la croissance de la motorisation et dans la transition vers les motorisations *diesel* au-delà de 2010. Aussi, des solutions alternatives de modélisation permettant de rendre compte de cette tendance de façon plus rationnelle seront mises en place lorsqu'on utilisera le modèle à des fins de prévision. En particulier, on pourra segmenter le modèle selon le type de motorisation, et inclure un paramètre de sensibilité de la motorisation des titulaires du permis aux prix des carburants.

La probabilité d'être motorisé chez les hommes détenteurs du permis de conduire augmente, toutes choses égales par ailleurs, tout au long de la vie jusqu'à l'âge de soixante-quinze ans, puis décroît, d'abord lentement jusqu'à l'âge de quatre-vingt ans, puis plus rapidement au-delà. Toutefois, on a montré que ce déclin apparent au-delà de quatre-vingt ans était surtout provoqué par les hommes appartenant aux générations nées avant 1925, mais qu'il n'existait déjà plus dans les générations suivantes. Aussi, dans l'application qui sera faite du modèle en prévision, ou pour le calcul des probabilités individuelles de motorisation chez les titulaires du permis ainsi que des effets marginaux et des élasticités, on représentera de manière différenciée le comportement des générations nées avant et après 1925. Ainsi, l'effet négatif de l'âge au-delà de quatre-vingts ans ne sera pris en compte que pour les générations nées avant 1925.

La probabilité pour les hommes détenteurs du permis d'être motorisés augmente également avec le niveau de vie du ménage, ainsi qu'avec l'existence d'une vie de couple, illustrant la fonction partiellement collective du véhicule principal du ménage, dont l'homme est souvent identifié comme l'utilisateur principal, du fait qu'il est aussi par convention désigné comme le chef du ménage. En revanche, la densité exerce une influence négative sur la probabilité de motorisation. L'effet de période pour une année postérieure à l'an 2000 est significatif et positif, indiquant bien une tendance à la hausse inexplicée au-delà de l'an 2000 sur les niveaux de motorisation, qui pourrait cependant être modélisée à travers une sensibilité du parc segmenté par type de motorisation à l'évolution des prix des carburants. Enfin, la variance des effets spécifiques individuels est significative, confirmant l'existence d'effets spécifiques individuels.

Dans l'ensemble, les valeurs des paramètres sont faibles, indiquant des comportements de motorisation très homogènes chez les hommes dès lors qu'ils sont titulaires du permis. Les facteurs exerçant réellement une influence sur la probabilité de motorisation des hommes détenteurs du permis sont finalement en nombre relativement limité : il s'agit essentiellement de l'âge – le niveau de motorisation est en retrait avant l'âge de vingt-cinq ans et après l'âge de quatre-vingts ans dans les générations les plus anciennes - et du niveau de vie.

Paramètre	Estimation	Erreur-type	Intervalle de confiance		P > (t)
18-20 ans	1,20	0,24	0,72	1,68	<,0001
20-25 ans	1,87	0,14	1,59	2,15	<,0001
25-30 ans	2,22	0,14	1,94	2,50	<,0001
30-35 ans	2,50	0,15	2,21	2,79	<,0001
35-40 ans	2,70	0,15	2,40	2,99	<,0001
40-45 ans	2,78	0,15	2,48	3,08	<,0001
45-50 ans	3,01	0,15	2,71	3,31	<,0001
50-55 ans	3,02	0,15	2,74	3,31	<,0001
55-60 ans	2,81	0,14	2,53	3,09	<,0001
60-65 ans	2,80	0,14	2,52	3,07	<,0001
65-70 ans	2,65	0,14	2,38	2,94	<,0001
70-75 ans	2,50	0,14	2,22	2,77	<,0001
75-80 ans	2,15	0,14	1,87	2,43	<,0001
80-85 ans	1,50	0,17	1,17	1,82	<,0001
85-90 ans	0,40	0,27	-0,12	0,92	0,13
90-95 ans	-1,28	0,67	-2,60	0,041	0,058
> 95 ans	0,18	0,035	0,11	0,25	<,0001
Nombre d'enfants	0,000014	2,11E-006	9,58E-006	0,000018	<,0001
Niveau de vie	-0,24	0,016	-0,27	-0,20	<,0001
Log-densité	-2,71	0,10	-2,92	-2,51	<,0001
Vie de couple – G ₀₋₅ (< 1940)	-2,11	0,091	-2,29	-1,93	<,0001
Vie de couple – G ₆₋₉ (1940-60)	-1,12	0,11	-1,33	-0,92	<,0001
Vie de couple – G ₁₀₋₁₂ (1960-75)	-0,39	0,056	0,28	0,51	<,0001
Activité professionnelle	3,96	0,13	3,70	4,22	<,0001

Tableau 30 : Table des paramètres, modèle de motorisation des détentrices du permis avec effets spécifiques individuels, modèle femmes

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

La situation est différente chez les femmes, avec des probabilités individuelles de motorisation beaucoup plus hétérogènes, et influencées par un plus grand nombre de facteurs. Elles dépendent de la position dans le cycle de vie, mais également de la génération – surtout pour les femmes en situation de vie de couple – de la présence d’enfants dans le ménage, de l’existence d’activité professionnelle, du niveau de vie du ménage, du type de lieu de résidence. L’opportunité d’accéder à un véhicule personnel chez les femmes, est donc fonction d’un plus grand nombre de critères que chez les hommes, ce qui est susceptible, ainsi qu’on l’a montré dans la section III.1, de recevoir aussi bien une interprétation économique que sociétale. En ce qui concerne l’interprétation économique, l’opportunité d’un second véhicule dans le ménage, en tant que bien de statut intermédiaire qui, compte tenu de l’ensemble des coûts générés, n’est pas encore accessible à l’ensemble de la population, est davantage évaluée au regard des besoins de mobilité réels du conjoint et des contraintes financières du ménage.

Le profil-type de motorisation chez les femmes en fonction de leur position dans le cycle de vie diffère de celui qu’on observe chez les hommes. La probabilité de motorisation chez les femmes titulaires du permis augmente ainsi, toutes choses égales par ailleurs, jusqu’à l’âge de cinquante ans, puis décroît, d’abord lentement jusqu’à l’âge de soixante-quinze ans, puis plus rapidement au-delà. Compte tenu des résultats de l’analyse descriptive, on n’a retenu dans le modèle « *femmes* » que des effets de génération spécifiques aux femmes vivant en couple, ces derniers étant négligeables pour les femmes vivant seules. On a donc inclus dans le modèle un effet d’interaction entre la génération et la vie de couple pour les générations nées avant 1975, qui ont été regroupées en trois sous-ensembles distincts, correspondant à un écart décroissant de motorisation entre les femmes qui vivent en couple et les femmes qui vivent seules :

- Les générations G_0 à G_5 dans lesquelles il est très important ;
- Les générations G_6 à G_9 dans lesquelles il demeure important mais en baisse ;
- Les générations G_{10} à G_{12} dans lesquelles il baisse encore de manière importante ;

Cet effet s’annule finalement dans les générations G_{13} à G_{16} , nées après 1975. L’existence d’activité professionnelle montre un effet significatif et positif sur la probabilité de motorisation chez les femmes titulaires du permis, de même que la présence d’enfants dans le ménage et un niveau de vie élevé. Comme on l’avait relevé dans la section III.1 consacrée à l’analyse descriptive, la probabilité de motorisation décroît fortement avec la densité. Enfin, la variance des effets individuels est significative, indiquant une forte hétérogénéité individuelle des comportements en fonction de facteurs non-observés.

Effets marginaux et élasticités

	Effet marginal de changement de génération - Hommes	Effet marginal de changement de génération - Femmes	Effet marginal de changement de génération - Tous	Effet marginal de genre, par génération	Autres effets marginaux
G0-1 (< 1920)	-	-	-	- 0,48	
G2-3 (1920-30)	-	-	-	- 0,54	
G4-5 (1930-40)	-	-	-	- 0,54	
G6-7 (1940-50)	-	-	-	- 0,37	
G8-9 (1950-60)	-	-	-	- 0,26	
G10-11 (1960-70)	-	-	-	- 0,09	
G12-13 (1970-80)	-	-	-	- 0,08	
G14-16 (> 1980)	-	-	-	- 0,07	
G0-2 (< 1925) vers G3-12 (1925-75)	+ 0,08	-	-	-	
G3-12 (1925-75) vers G13-16 (> 1975)	+ 0	-	-	-	
G0-5 (< 1940) vers G6-9 (1940-60)	-	+ 0,05	-	-	
G6-9 (1940-60) vers G10-12 (1960-75)	-	+ 0,13	+ 0,07	-	
G10-12 (1950-60) vers G13-16 (> 1975)	-	+ 0,12	+ 0,06	-	
G0-2 (< 1925) vers G3-5 (1925-40)			+ 0,04	-	
G3-5 (1925-40) vers G6-9 (1940-60)			+ 0,03	-	
18-20 vers 20-25 ans	+ 0,19	+ 0,12	+ 0,14	-	
20-25 vers 25-30 ans	+ 0,02	+ 0,06	+ 0,03	-	
25-30 vers 30-35 ans	+ 0,02	+ 0,04	+ 0,02	-	
30-35 vers 35-40 ans	+ 0,01	+ 0,03	+ 0,020	-	
35-40 vers 40-45 ans	+ 0,01	+ 0,01	+ 0,01	-	
40-45 vers 45-50 ans	+ 0,02	+ 0,04	+ 0,023	-	
45-50 vers 50-55 ans	+ 0,019	+ 0,002	+ 0,011	-	
50-55 vers 55-60 ans	+ 0,021	- 0,035	- 0,006	-	
55-60 vers 60-65 ans	+ 0,023	- 0,002	+ 0,010	-	

60-65 vers 65-70 ans	+ 0,000	- 0,023	- 0,012	-	
65-70 vers 70-75 ans	+ 0,003	- 0,024	- 0,011	-	
70-75 vers 75-80 ans	- 0,006	- 0,009	- 0,007	-	
75-80 vers 80-85 ans	- 0,029	- 0,042	- 0,036	-	
80-85 vers 85-90 ans	- 0,097	- 0,098	- 0,093	-	
85-90 vers 90-95 ans	- 0,104	- 0,163	- 0,147	-	
90-95 vers + de 95 ans	- 0,361	0	- 0,104	-	
Activité professionnelle	-	+ 0,062		-	
Vie conjugale	+ 0,025	- 0,261	- 0,153	-	
- Dans G0-5 (< 1940)	-	- 0,427	- 0,319		
- Dans G6-9 (1940-60)	-	- 0,350	- 0,200	-	
- Dans G10-12 (1960-75)	-	- 0,184	- 0,091	-	
- Dans G13-16 (> 1975)	0	0	0	-	
Nombre d'enfants	0	+ 0,029	+ 0,015	-	
Elasticité au revenu	+ 0,068	+ 0,254	+ 0,168	-	
Elasticité à la log-densité	- 0,193	- 1,605	- 0,942	-	

Tableau 31 : Table des effets marginaux et des élasticités dans le modèle de motorisation des titulaires du permis

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

La probabilité de motorisation des détenteurs du permis augmente fortement, toutes choses égales par ailleurs, en tout début de vie adulte, entre la tranche d'âge 18-20 ans et la tranche d'âge 20-25 ans, avec un effet marginal de changement de tranche d'âge évalué à + 18,5 points. Cette progression se poursuit ensuite continûment tout au long de la vie, jusqu'à l'âge de soixante-cinq ans, c'est-à-dire approximativement jusqu'à la retraite, mais de manière beaucoup plus lente. Ainsi, le taux de motorisation des hommes détenteurs du permis progresse par exemple seulement de + 2,1 points entre la tranche d'âge 20-25 ans et la tranche d'âge 25-30 ans. Cette croissance tend à ralentir jusqu'à l'âge de quarante-cinq ans, avant de connaître une accélération entre quarante-cinq ans et soixante-cinq ans. Il se pourrait que ce regain temporaire de croissance à un âge avancé, dans la seconde moitié de la période d'activité professionnelle, s'explique par l'augmentation des rémunérations en fin de parcours professionnel, ainsi que par l'épargne cumulée - avec par exemple la fin du remboursement des emprunts liés à l'habitation principale - qui favorise des décisions tardives d'achats de véhicules. Au total, entre vingt-cinq et soixante-cinq ans, le taux de motorisation des hommes détenteurs du permis progresse de + 14,3

points, soit moins que la seule progression ayant lieu entre les tranches d'âge 18-20 ans et 20-25 ans. Cette faible progression est le corollaire d'un taux de motorisation déjà très élevé en tout début de vie adulte, entraînant chez les hommes une forme très aplatie de la courbe d'évolution du taux de motorisation avec l'âge. Entre soixante-cinq et soixante-quinze ans, le taux de motorisation plafonne, puis décroît, d'abord très lentement jusqu'à l'âge de quatre-vingts-cinq ans (- 3,5 points au total), puis beaucoup plus rapidement au-delà. Globalement, les effets de l'âge sont relativement faibles, à l'exception du tout début et de la toute fin du cycle de vie.

L'existence d'une vie de famille exerce une influence positive sur la probabilité de motorisation des hommes titulaires du permis, toutefois très faible (+ 2,5 points). De même, l'élasticité de la probabilité de motorisation des hommes détenteurs du permis au revenu est estimée à seulement + 0,07. Enfin, l'élasticité moyenne à la log-densité est évaluée à seulement - 0,19. Cela peut s'interpréter en considérant que le véhicule principal du ménage est devenu un bien de première nécessité¹¹³ si on place l'analyse au niveau du ménage, ou bien que l'accès à un véhicule personnel est devenu une aménité ordinaire pour les hommes, si on place l'analyse au niveau individuel.

Pour les femmes, les effets d'interaction entre la génération et l'existence d'une vie de couple sont significatifs. Ils s'expliquent par la motorisation croissante des femmes qui vivent en couple au fil des générations successives. Au total, le taux de motorisation des détentrices du permis a progressé, toutes choses égales par ailleurs, de + 30,5 points entre le groupe de générations G_{0-5} (< 1940) et le groupe de générations G_{13-16} (> 1975). Cette progression se décompose en des augmentations respectives de + 4,9 points entre le groupe de générations G_{0-5} (< 1940) et le groupe G_{6-9} (1940-60), de + 13,3 points entre les groupes de générations G_{6-9} (1940-60) et G_{10-12} (1960-75), et + 12,3 points entre les groupes G_{10-12} (1960-75) et G_{13-16} (> 1975).

Le profil de motorisation des détentrices du permis en fonction de l'âge est également beaucoup plus contrasté que chez les hommes, avec un maximum atteint vers l'âge de quarante-cinq ans. La probabilité de motorisation des détentrices du permis augmente ainsi, toutes choses égales par ailleurs, de + 11,5 points entre la tranche d'âge 18-20 ans et la tranche d'âge 20-25 ans, puis de + 5,8 points entre les tranches d'âge 20-25 ans et 25-30 ans, + 4,2 points entre les tranches d'âge 25-30 ans et 30-35 ans, etc. Elle augmente donc plus lentement que les hommes en tout début de cycle de vie, mais plus rapidement ensuite, indiquant un parcours de motorisation plus progressif avec l'avancée en âge. Au total, l'effet cumulé du passage de la tranche d'âge 20-25 ans à la tranche d'âge 45-50 ans sur la probabilité de motorisation des détentrices de permis s'élève à + 17,7 points. Celle-ci demeure ensuite relativement stable au cours de la seconde moitié de la vie professionnelle, entre quarante-cinq et soixante-cinq ans, puis décroît à partir de la retraite, d'abord lentement jusqu'à quatre-vingts-cinq ans, plus rapidement au-delà.

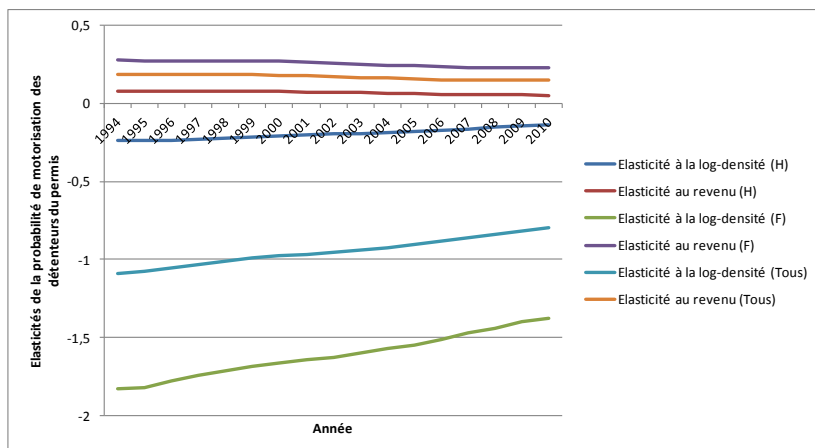
Contrairement à ce qu'on observe pour les hommes, l'effet marginal de l'exercice d'une activité professionnelle est assez important, et peut être estimé à + 6,2 points. De même, la présence d'enfants dans le ménage entraîne une augmentation de la probabilité de motorisation des détentrices du permis de + 2,9 points par enfant supplémentaire. Mais c'est toutefois l'existence

¹¹³ Que celle-ci soit objective ou bien seulement perçue.

d'une vie de famille qui exerce l'influence la plus importante, avec un effet marginal moyen estimé à - 26,1 points, qui décroît au fil des générations, passant de - 42,7 points dans le groupe de générations G_{0-5} à - 35,0 points dans le groupe G_{6-9} , - 18,4 points dans le groupe G_{10-12} , avant de s'annuler dans les générations suivantes.

Les élasticités moyennes de la probabilité de motorisation des détenteurs du permis par rapport à la log-densité et au revenu sont aussi nettement plus élevées que pour les hommes, s'élevant respectivement à - 1,61 et + 0,25. On remarque que les facteurs spatiaux exercent une influence particulièrement élevée sur la probabilité de motorisation des détenteurs du permis, qui déterminent de façon cruciale les décisions d'acquisition d'un second véhicule dans le ménage. De plus, l'hétérogénéité des niveaux d'équipement des femmes en fonction des formes urbaines et du niveau de vie est nettement plus importante que ce qu'on observe pour l'accès au permis de conduire. Cela peut s'expliquer par les caractéristiques spécifiques respectives de l'accès au permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel, dans la mesure où le fait de disposer du permis de conduire est généralement un acquis irréversible, et correspond à une assurance en matière de mobilité pour l'ensemble de la vie adulte, tandis qu'à l'inverse, les décisions d'équipement sont réévaluées à chaque période de la vie en fonction des circonstances.

Hommes et femmes confondus, l'élasticité au revenu de la probabilité de motorisation des titulaires du permis est estimée à + 0,17, et l'élasticité à la log-densité à - 0,94. L'effet marginal de genre sur la probabilité de motorisation des titulaires du permis est relativement stable dans les générations nées avant 1940, autour de - 50 points, avant de décroître graduellement au fil des générations. Il subsiste toutefois encore un léger effet marginal de genre dans les générations nées après 1960, qui diminue depuis lentement, de - 9 points dans la génération 1960-70 à - 7 points dans les générations nées après 1980.



Graphique 65 : évolutions annuelles des élasticités – modèle de motorisation des détenteurs du permis – lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Comme pour les élasticités de la probabilité d'avoir le permis de conduire, les élasticités de la probabilité de motorisation des titulaires du permis calculées à partir du modèle diminuent tendanciellement, illustrant le processus graduel d'approche de la saturation. Comme pour l'accès au permis de conduire, ce déclin tendanciel concerne principalement les femmes, pour lesquelles la diffusion de la voiture se situe encore dans une phase intermédiaire de croissance, alors qu'elle

a déjà quasiment atteint un niveau de saturation chez les hommes. Ainsi, l'élasticité au revenu moyenne de la probabilité de motorisation des femmes titulaires du permis décroît de + 0,28 à + 0,23 entre 1994 et 2010, tandis que l'élasticité à la log-densité décroît de - 1,83 à - 1,38 au cours de la même période. Les évolutions observées chez les hommes sont moins importantes, les élasticités étant déjà caractérisées par des niveaux très faibles en début de période d'observation. L'élasticité au revenu de la probabilité de motorisation des titulaires du permis décroît ainsi de + 0,08 à + 0,05, et l'élasticité à la log-densité de - 0,23 à - 0,14. L'essentiel de ce déclin est observé au cours des années 2000, correspondant à une période de redémarrage dans la croissance du taux de motorisation. Au total, hommes et femmes confondus, les élasticités moyennes de la probabilité de motorisation des titulaires du permis, respectivement par rapport au revenu et à la log-densité, décroissent de + 0,19 à + 0,15, et de - 1,09 à - 0,80.

Observons que l'élasticité de la probabilité de motorisation des titulaires du permis par rapport au revenu diminue à présent de manière très lente, illustrant un processus de diffusion sociale qui semble atteindre ses limites, compte tenu d'une très forte réduction des inégalités sociales de motorisation au cours des précédentes décennies, et de niveaux de motorisation désormais presque homogènes entre quartiles, à l'exception peut-être du quartile inférieur, qui demeure encore en retrait (*cf. section III.1.c.2*). La principale source d'hétérogénéité du taux de motorisation, chez les femmes, est liée à la localisation. Cependant, l'élasticité par rapport à la log-densité est aussi en forte baisse tendancielle, indiquant une diffusion rapide de l'automobile chez les détentrices du permis, qui tend à être de moins en moins reliée au niveau de dépendance automobile.

III.2.d.4) Espérance du kilométrage annuel parcouru chez les utilisateurs principaux d'un véhicule

Le choix des indices de prix et des élasticités correspondantes

Dans cette section, on estime un modèle de l'usage des véhicules chez les adultes disposant d'un véhicule personnel. Parmi les facteurs les plus déterminants de l'usage des véhicules, les prix des carburants (en €/l) ou les coûts d'usage des véhicules (en €/km) jouent un rôle essentiel, souligné dès le début de ce mémoire. Cependant, ils sont également susceptibles d'expliquer certaines différences dans les niveaux d'usage des véhicules entre individus. Ainsi par exemple, les véhicules *diesel*, à la fois en raison des prix du gazole qui demeurent inférieurs à l'essence – même si le différentiel se réduit – et d'une moindre consommation, sont utilisés de manière plus intensive que les véhicules essence (*Hivert, 2011*), la durée de vie plus importante des véhicules y contribuant également. Compte tenu de ces caractéristiques, le choix d'une motorisation de type *diesel* tend également à être privilégié par les individus qui ont ou qui projettent d'avoir une utilisation intensive des véhicules. De ce fait, les écarts d'utilisation des véhicules en fonction du type de motorisation ne reflètent pas exclusivement l'influence du coût d'usage des véhicules, mais également des préférences personnelles hétérogènes, les véhicules *diesel* ayant tendance à « attirer » les gros utilisateurs, un phénomène que l'on qualifiera d'auto-sélection des dieselistes. Ce mécanisme d'auto-sélection est donc susceptible d'induire un biais d'endogénéité, à savoir une surestimation possible de l'influence réelle du coût d'usage des véhicules sur le kilométrage annuel parcouru, en particulier dans les estimations en coupe transversale. Ce point devra donc être gardé

à l'esprit lorsqu'on produira des estimations transversales des élasticités aux prix des carburants ou au coût d'usage des véhicules.

En raison de l'hétérogénéité des prix et des performances énergétiques pour les différents types de motorisations, ainsi que des progrès techniques réalisés, aussi bien les prix des carburants que les coûts d'usage des véhicules présentent, à un instant donné, une hétérogénéité interindividuelle. Toutefois, l'hétérogénéité des coûts d'usage des véhicules est plus importante que celle des prix des carburants, dans la mesure où la prise en compte de l'efficacité énergétique tend à amplifier l'avantage des motorisations *diesel* sur les motorisations essence.

Pour estimer l'influence des prix des carburants ou des coûts d'usage des véhicules sur les kilométrages parcourus, on peut choisir d'avoir recours, soit à un indice agrégé, soit à un indice désagrégé. Dans le premier cas, on s'intéresse globalement à l'influence des conditions exogènes liées aux fluctuations des prix sur l'utilisation des véhicules. Toutefois, on ne traduit pas fidèlement le coût réellement supporté par l'utilisateur au niveau individuel, dans la mesure où on ne tient pas compte de sa motorisation spécifique. Dans le cas d'un indice agrégé, on calculera par exemple, le prix moyen du carburant à la pompe en pondérant les prix attachés à chaque type de carburant par les consommations annuelles cumulées correspondantes. Dans le cadre d'un indice désagrégé, au contraire, on prendra en compte la structure spécifique de la motorisation et/ou des consommations individuelles.

Une désagrégation totale des prix dans laquelle ces derniers sont pondérés par la consommation et/ou l'usage de chaque type de véhicules présente l'avantage de mieux coller au coût réellement ressenti par l'utilisateur. Dans cette représentation, le prix du carburant n'est plus une donnée purement exogène mais une donnée individuelle, reflétant pour partie des tendances exogènes et pour partie des choix individuels sur le renouvellement de la flotte de véhicules. Elle présente cependant l'inconvénient d'endogénéiser certains choix d'équipement qui sont eux-mêmes en partie motivés par l'évolution des prix, en les internalisant dans le calcul de l'indice de prix, ce qui tend à masquer certains mécanismes de réaction aux prix. En effet, on considère dans ce cas que l'évolution de l'usage résulte seulement de la sensibilité au coût perçu par l'utilisateur en fin de compte, qui est lui-même traité comme une donnée purement exogène, alors qu'il internalise en fait des choix préalablement effectués par l'automobiliste.

Or, en réalité, la réaction de l'automobiliste est bien constituée de plusieurs composantes, qui peuvent être vues comme un ensemble de réactions coordonnées au signal-prix initial, dont l'origine réside dans le prix à la pompe. Cette réaction est constituée d'au moins deux composantes:

- La sensibilité de l'usage des véhicules à leur coût d'usage ;
- L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, elle-même sensible à l'évolution des prix des carburants, qui permet de limiter l'impact de l'augmentation des prix à la pompe sur le coût réellement perçu par l'utilisateur.

Pour une description détaillée de ce processus et de la manière dont les individus et/ou les ménages réagissent aux variations de prix des carburants, on se reportera notamment aux sections II.1.b et II.2.a. Le changement de motorisation permet, pour une même utilisation des véhicules, de réduire la consommation de carburant et donc le budget supporté par le ménage. Pour cette raison, la transition vers des motorisations plus efficaces se traduit généralement par des

élasticités-prix de la consommation de carburant supérieures aux élasticités-prix de l'usage des véhicules. En effet, l'élasticité-prix de la consommation de carburant se compose à la fois de l'élasticité-prix de l'utilisation des véhicules et de celle de l'intensité énergétique des véhicules.

En outre, à court terme, prix des carburants et coûts d'usage des véhicules tendent à évoluer de manière analogue, le changement de motorisation demandant du temps. Par contre, à long terme, le coût d'usage des véhicules tend à évoluer moins vite que le prix des carburants, grâce à l'amortissement résultant de l'amélioration de l'efficacité énergétique. Pour cette raison, l'élasticité de long terme de l'usage des véhicules au coût d'usage des véhicules tend à être supérieure à l'élasticité au prix des carburants.

Cette question de l'impact à long terme des prix à la pompe est encore compliquée par l'effet de rebond, à savoir le fait que l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules du ménage permet un rebond dans l'utilisation des véhicules. Celui-ci tend à minimiser l'impact de long terme de la hausse des prix aussi bien sur l'utilisation des véhicules que sur la consommation de carburant.

Si donc le coût d'usage reflète mieux le coût réellement supporté par l'utilisateur, en revanche la sensibilité de l'usage final (ou à long terme) aux prix à la pompe décrit plus justement l'ensemble du processus par lequel l'automobiliste s'adapte à l'évolution des prix des carburants. Les deux indicateurs semblent donc finalement avoir leurs avantages et leurs inconvénients respectifs, et une comparaison des deux élasticités peut apporter un éclairage utile sur ce processus.

En ce qui concerne le choix entre un indicateur agrégé ou désagrégé, observons qu'un indicateur agrégé se concentre sur la lecture des évolutions de prix moyens ou de coûts d'usage moyens dans le temps. De ce fait, l'analyse de la relation entre l'usage des véhicules et un indicateur agrégé de prix s'apparente davantage à une mesure de sensibilité.

A l'inverse, dans le cas d'un indicateur désagrégé, l'indicateur varie à la fois au cours du temps et d'un individu à l'autre, la variabilité interindividuelle ayant de plus tendance à dominer sur la variabilité temporelle. De ce fait, l'élasticité au prix du carburant aura tendance à mesurer à la fois une sensibilité aux variations des prix au cours du temps, et l'hétérogénéité des usages en fonction des différents types de motorisation et d'éventuelles différences régionales et/ou locales dans les prix des carburants, ce qui conduit à des estimations beaucoup plus élevées. Cette mesure, toutefois, ne recoupe pas l'acceptation traditionnelle de l'élasticité, qui est, dans la littérature davantage comprise comme une mesure de sensibilité que comme une mesure d'hétérogénéité. Selon certaines interprétations, qui sont en partie justifiées, les estimations transversales traduisent également la formation d'équilibres de long terme de la demande. Elles ne sont donc pas dépourvues d'intérêt non plus pour évaluer la manière dont l'usage des véhicules s'adapte à long terme aux variations dans le temps des prix des carburants ou des coûts d'usage des véhicules. Comme l'a montré *Mundlak (1978)*, elles sont toutefois également susceptibles d'être biaisées en présence d'endogénéité, notamment du fait de l'auto-sélection des « gros rouleurs » précédemment mentionnée.

Bien qu'une estimation basée sur un indice désagrégé s'apparente principalement à une mesure d'hétérogénéité, elle présente l'avantage de prendre en compte l'ensemble des sources de variabilité des prix des carburants et des coûts d'usage des véhicules. Dans le cas d'un modèle linéaire sur données de panel, il est de plus possible de distinguer entre mesures d'hétérogénéité et de sensibilité en comparant les estimations « *transversales* » et « *longitudinales* » des

élasticités, dont on a montré dans la section II.3.c qu'elles n'étaient pas équivalentes. Il semble donc au final préférable de recourir à un indice désagrégé.

Les deux principales sources d'écart entre estimations transversales et longitudinales, dans le cas de l'usage des véhicules chez les adultes équipés qui présente une tendance stationnaire, sont donc constituées par les facteurs d'endogénéité, ou l'existence de corrélations possibles entre les effets individuels et les variables explicatives, et la temporalité des processus, compte tenu à la fois de l'interprétation des estimations transversales comme le reflet d'un équilibre à long terme et de l'interprétation des estimations longitudinales comme étant de court terme, étant donné la faible durée de conservation des individus dans le panel. On gardera donc à l'esprit ces interprétations lors de l'analyse des résultats de la modélisation. Une autre source d'écart entre hétérogénéité et sensibilité survient dans le cas de processus asymétriques tels que la diffusion d'un bien durable, comme on le montre dans la section III.3.c.3. Dans le cas de l'utilisation des véhicules, ce problème est toutefois limité par le caractère globalement stationnaire de l'utilisation des véhicules chez les adultes équipés (cf. section II.2.a.3). Nous avons de plus montré que le recours à l'hypothèse d'une asymétrie dans la sensibilité de l'usage des véhicules aux prix des carburants n'était pas nécessaire pour reconstituer les tendances récentes au plafonnement de l'usage de la voiture (cf. section II.2.a.5), qui tend d'ailleurs à repartir dans les périodes de prix bas, comme pendant le contre-choc pétrolier.

Estimation des paramètres sur l'ensemble de la période 1994-2010

Dans le cadre du modèle linéaire à erreurs composées, différents estimateurs sont produits, permettant notamment de comparer les estimations transversales et longitudinales, ou *between* et *within*. On fournit en outre les estimateurs des MCO et des MCQG de Wallace-Hussain (1969). On commence par présenter les résultats du modèle « hommes », puis du modèle « femmes », en considérant d'un seul bloc la période 1994-2010. Puis, on produira des estimations séparées pour les périodes 1994-2000 et 2000-2010, de manière à tester l'existence d'une possible inflexion au niveau des comportements, et en particulier dans la sensibilité des individus aux prix des carburants.

Pour obtenir l'estimateur des MCQG, on applique la méthode en deux étapes présentée dans l'annexe 4, dans laquelle on commence par estimer les composantes de la variance des perturbations, qui permettent dans un second temps de calculer la matrice de variance-covariance des perturbations. L'estimateur des MCQG s'obtient alors en appliquant les MCO au modèle transformé. On obtient pour les estimateurs des composantes de la variance des perturbations :

$$\widehat{\sigma}_1^2 = 10,03 \text{ et } \widehat{\sigma}_u^2 = 1,57, \text{ d'où on déduit } \sqrt{\widehat{\theta}^2} = 0,681.$$

En multipliant les observations par $W + 0,681 B$, puis en appliquant les MCO, on obtient l'estimateur des MCQG.

Modèle hommes

Pour les effets de génération, on n'a produit que les estimations *between*, dans la mesure où la génération est une variable permanente, de sorte que seules les différences interindividuelles ont un sens. Contrairement à ce que suggère l'analyse descriptive, les effets de génération indiquent une tendance à la baisse, toutes choses égales par ailleurs, de l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés au fil des générations. Toutefois, ces effets ne sont pas significatifs, sauf dans les

générations d'hommes nées après 1980. La modélisation tend donc plutôt à confirmer l'absence d'effets de génération significatifs dans l'utilisation des véhicules chez les hommes qui ressortait déjà de l'analyse descriptive, sauf dans les générations récentes. Les estimations des effets d'âge indiquent une croissance de l'utilisation des véhicules, toutes choses égales par ailleurs, jusque dans la tranche d'âge 25-30 ans, suivie d'un déclin, d'abord lent jusqu'à l'âge de cinquante ans, puis plus rapide au-delà, ce qui est également cohérent avec les résultats de l'analyse descriptive.

	<i>MCO</i>	<i>BETWEEN</i>	<i>WITHIN</i>	<i>MCQG</i>
Intercept	-	4,84	-	-
G ₂₋₃	-	0,016 (NS)	-	-
G ₄₋₅	-	1 (NS)	-	-
G ₆₋₇	-	-0,11 (NS)	-	-
G ₈₋₉	-	-0,28 (NS)	-	-
G ₁₀₋₁₁	-	-0,32 (NS)	-	-
G ₁₂₋₁₃	-	-0,55 (NS)	-	-
G ₁₄₋₁₆	-	-0,73	-	-
18 - 20 ans	4,02	0,52 (NS)	-	3,78
20 - 25 ans	4,03	1,11 (NS)	-	4,15
25 - 30 ans	4,06	1,16 (NS)	-	4,20
30 - 35 ans	4,01	0,98 (NS)	-	4,14
35 - 40 ans	3,87	0,99 (NS)	-	4,01
40 - 45 ans	3,81	0,87 (NS)	-	3,98
45 - 50 ans	3,81	0,79 (NS)	-	3,92
50 - 55 ans	3,66	0,68 (NS)	-	3,77
55 - 60 ans	3,62	0,58 (NS)	-	3,71
60 - 65 ans	3,54	0,61 (NS)	-	3,67
65 - 70 ans	3,45	0,47 (NS)	-	3,57
70 - 75 ans	3,2	0,24 (NS)	-	3,37
75 - 80 ans	2,93	0,08 (NS)	-	3,11
80 - 85 ans	2,53	-0,29 (NS)	-	2,72
85 - 90 ans	2,36	-0,3 (NS)	-	2,3
90 - 95 ans	2,07	-0,15 (NS)	-	1,7
Périphérie	0,02 (NS)	0,047	0,016 (NS)	0,015 (NS)
Activité professionnelle	0,075	0,13	0,11	0,12
Vie de couple	0,17	0,12	0,035 (NS)	0,10
Niveau < Bac	-0,11	-0,15	- 0,10(NS)	- 0,17
Niveau bac	0,02 (NS)	-0,011 (NS)	0,14 (NS)	- 0,071 (NS)
1 ^{er} cycle	0,07	0,04 (NS)	0 (NS)	0,026 (NS)
2 ^e cycle	0,069 (NS)	0,014 (NS)	0 (NS)	0,032 (NS)
Niveau de vie	0,20	0,18	+ 0,04	+ 0,10
Prix à la pompe (€/l)	-	-1,15	-0,52	-
Coût d'usage des véhicules (€/km)	0,11 (NS)	-0,91	-0,53	- 0,56
Enfant additionnel	-0,075	-0,048	-0,11	- 0,08
Log-densité	-0,035	-0,039	-0,045	- 0,04

Tableau 32 : Estimations du modèle log-linéaire d'usage des véhicules sur la période 1994-2010 – Hommes

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'effet d'un habitat en zone peu dense est en général très faible et non-significatif, dès lors que l'effet de la densité est pris en compte - ce qui est le cas ici - à l'exception de l'estimation *between*. Les paramètres d'activité professionnelle sont assez voisins pour les différents estimateurs, sauf

dans l'estimation par les MCO qui donne un effet de l'activité professionnelle légèrement inférieur. L'effet d'une vie de famille est significatif et positif dans la dimension transversale mais non-significatif dans la dimension longitudinale, ce qui pourrait s'expliquer par le temps nécessaire pour que l'évolution de la composition familiale produise ses effets sur l'utilisation des véhicules, mais également par la faible fréquence des changements de situation conjugale observés. Les hommes vivant seuls ont donc, toutes choses égales par ailleurs, une utilisation moins intensive des véhicules dont ils sont l'utilisateur principal que les hommes qui vivent en couple, ce qui est cohérent avec les résultats de l'analyse descriptive. Outre la fonction collective du véhicule principal, déjà relevée à plusieurs reprises, une autre raison pourrait être la fréquence plus élevée des occasions de sortie, par exemple de visites à la famille et aux amis respectifs des conjoints ainsi que des déplacements de loisirs pour les personnes vivant en couple, par rapport aux personnes vivant seules. L'effet du niveau d'études est très voisin pour les différents estimateurs, seul l'effet d'un niveau d'études inférieur au bac étant réellement significatif (et négatif) sur l'utilisation des véhicules. L'effet d'enfants supplémentaires dans le ménage sur l'usage des véhicules chez les hommes motorisés est négatif mais faible.

L'effet du niveau de vie est en revanche plus important dans la dimension transversale que dans la dimension longitudinale, dans la mesure où, comme nous l'avons déjà expliqué, les variations longitudinales du revenu sont dans une large mesure aléatoires. Bien entendu, il aurait été possible d'estimer l'effet de changements de tranche de revenu à travers l'introduction dans le modèle d'indicatrices de tranche plutôt qu'en utilisant une variable continue. Cependant dans ce cas, il aurait été impossible d'estimer des élasticités, ce qui constituait l'un des objectifs de la modélisation, en vue de comparer les résultats obtenus avec la littérature, mais aussi afin de pouvoir utiliser le modèle en projection, le cas échéant, sur la base de données exogènes. Pour cette raison, le recours à l'estimateur *between* semble préférable, ce dernier donnant une élasticité au revenu de l'usage des véhicules de + 0,18 chez les hommes motorisés.

Les estimations des élasticités au coût d'usage des véhicules sont très proches pour les estimateurs *within* et des *MCQG*, à respectivement - 0,53 et - 0,56, mais l'estimation *between* à - 0,91, est nettement plus importante. On a déjà proposé une interprétation de l'écart entre estimations transversales et longitudinales dans le cas des prix des carburants. En effet d'une part, l'estimation longitudinale représente vraisemblablement une estimation de moyen terme, puisque l'on n'a gardé que les individus présents au moins cinq ans dans le panel. L'estimation *between*, en revanche, correspond partiellement à la formation d'un équilibre de long terme, mais elle est par ailleurs probablement surestimée, compte tenu de l'auto-sélection des gros rouleurs qui privilégient les motorisations *diesel*.

On a également calculé des élasticités au prix à la pompe. Comme précédemment, l'estimation transversale est nettement supérieure à l'estimation longitudinale, celles-ci valant respectivement - 1,15 et - 0,52. Comme on peut le constater, l'estimation longitudinale de l'élasticité au prix à la pompe est très proche de celle obtenue pour l'élasticité au coût d'usage des véhicules, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'elles diffèrent peu sur le court terme, en l'absence de changement de motorisation, celui-ci demandant généralement un temps d'adaptation plus important. En revanche, l'estimation transversale de l'élasticité au prix à la pompe est supérieure à celle obtenue pour l'élasticité au coût d'usage des véhicules. Cela est logique puisque les différences d'usage aussi bien que de coût d'usage de la voiture entre motorisations tiennent à la fois aux différences de prix à la pompe et de consommation. Or, les prix à la pompe sont plus resserrés que les coûts d'usage des véhicules, compte tenu du double avantage au *diesel* au regard de ces critères. Par

conséquent, l'hétérogénéité des niveaux d'usage de la voiture apparaît plus importante lorsqu'on la rapporte aux prix à la pompe que lorsqu'on la rapporte aux coûts d'usage des véhicules.

Enfin, l'élasticité à la log-densité, autour de - 0,04, est très faible quel que soit l'estimateur, indiquant qu'en dépit de distances à parcourir plus élevées en moyenne dans les zones peu denses, notamment pour les déplacements vers le travail, l'utilisation des véhicules est bien moins dépendante des effets de localisation que ne l'est le niveau de motorisation. Une explication plausible de ce paradoxe pourrait être que les résidents de ces espaces compensent l'augmentation des distances par une réduction du nombre de leurs déplacements, de manière à maîtriser l'évolution de la distance totale parcourue quotidiennement, ou du budget-temps correspondant. Cependant, il pourrait également y avoir des effets de substitution entre mobilité locale et mobilité à longue distance, les résidents des zones peu denses voyageant en moyenne moins souvent à longue distance, un phénomène de compensation souvent qualifié « *d'effet-barbecue* » (Longuar et al., 2010 ; Nguyen Nguyen, 2014). Celui-ci pourrait lui-même s'expliquer dans le cadre d'arbitrages internes aux ménages dans lesquels ces derniers chercheraient à maîtriser leur niveau global d'utilisation des véhicules, ainsi que les coûts, tant budgétaires que temporels, qui y sont associés (cf. sections II.1.a et II.2.a.4, notamment, pour une discussion de ces hypothèses).

Au final, en cas de fortes divergences entre les estimateurs, le choix de l'estimation la plus pertinente dépend de l'effet étudié. Comme on l'a déjà expliqué, les estimations *within* ou par les MCQG semblent plus indiquées dans le cas des prix du carburant, tandis qu'à l'inverse il vaut mieux s'appuyer sur les estimations *between* ou des MCQG pour l'effet du niveau de vie. Pour l'effet de l'activité professionnelle, les différents estimateurs sont équivalents.

Modèle femmes

Comme précédemment, les estimateurs des MCQG sont calculés après avoir calculé les estimateurs des composantes de la variance des perturbations, pour lesquels on obtient :

$$\widehat{\sigma}_1^2 = 6,94 \text{ et } \widehat{\sigma}_u^2 = 1,152, \text{ d'où on déduit } \sqrt{\widehat{\theta}^2} = 0,598.$$

Comme pour les hommes, les effets de génération ne sont pas significatifs pour l'utilisation des véhicules. La tendance à la baisse de l'usage de la voiture dans les générations nées après 1980 apparaît de plus moins marquée que chez les hommes. Les effets d'âge indiquent une progression, toutes choses égales par ailleurs, de l'usage des véhicules chez les femmes équipées jusque vers l'âge de vingt-cinq à trente ans, suivie d'un déclin, d'abord lent jusque vers l'âge de cinquante-cinq ans, puis plus rapide ensuite.

L'estimation longitudinale d'un déménagement vers un lieu de résidence situé en zone d'urbanisation diffuse est peu significative, sans doute à la fois en raison du temps nécessaire pour que le changement de lieu de résidence produise pleinement l'ensemble de ses effets sur le mode de vie, mais également en raison de la faible fréquence des changements de situation enregistrés. L'estimation transversale indique un effet plus important que chez les hommes, quoi que demeurant modéré, dans la mesure où les effets de forme urbaine sont déjà dans une large mesure pris en compte au travers de la variable de densité. Les effets de l'activité professionnelle et d'une vie de couple ne diffèrent pas significativement chez les hommes et chez les femmes. Cependant, l'effet de la vie de couple est moins clairement significatif chez les femmes que chez les hommes, les estimateurs *within* et *between* étant non-significatifs. Le niveau d'utilisation de la

voiture chez les femmes motorisées ne semble donc pas différer fondamentalement entre les femmes vivant seules et les femmes vivant en couple, ce qui est cohérent avec les résultats de l'analyse descriptive. En revanche, l'effet du niveau d'études sur l'utilisation des véhicules est plus important chez les femmes que chez les hommes, et ne se limite pas à une moindre utilisation des véhicules chez les personnes les plus faiblement diplômées, mais indique une progression continue de l'usage des véhicules avec le niveau d'études. Enfin, l'effet d'enfants supplémentaires dans le ménage sur l'utilisation des véhicules n'est pas significatif, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que les déplacements d'accompagnement scolaire, bien que souvent réalisés par les femmes, s'effectuent plutôt dans une sphère de proximité, avec de faibles distances de déplacements.

	MCO	B	W	MCQG
Intercept	6,91	8,70	-	2,91
G2-3	0,00 (NS)	0,30 (NS)	-	- 0,09 (NS)
G4-5	-0,06 (NS)	0,36	-	- 0,17 (NS)
G6-7	-0,19 (NS)	0,35 (NS)	-	-0,28 (NS)
G8-9	-0,33	0,25 (NS)	-	-0,41
G10-11	-0,41	0,25 (NS)	-	-0,41
G12-13	-0,52	0,19 (NS)	-	-0,56
G14-16	-0,87	-0,08 (NS)	-	-0,92
18 - 20 ans	0,76 (NS)	-0,64 (NS)	1,06	1,09
20 - 25 ans	1,13	-0,27 (NS)	1,67	1,55
25 - 30 ans	1,18	-0,16 (NS)	1,86	1,63
30 - 35 ans	1,03	-0,33 (NS)	1,83	1,54
35 - 40 ans	0,98	-0,29 (NS)	1,79	1,49
40 - 45 ans	0,88	-0,34 (NS)	1,66	1,39
45 - 50 ans	0,87	-0,32 (NS)	1,54	1,32
50 - 55 ans	0,72 (NS)	-0,46 (NS)	1,46	1,21
55 - 60 ans	0,52 (NS)	-0,68 (NS)	1,28	1,02
60 - 65 ans	0,34 (NS)	-0,81 (NS)	1,16	0,89
65 - 70 ans	0,18 (NS)	-0,89 (NS)	0,98	0,71 (NS)
70 - 75 ans	-0,04 (NS)	-1,11 (NS)	0,69 (NS)	0,46 (NS)
75 - 80 ans	-0,3 (NS)	-1,19 (NS)	0,40 (NS)	0,18 (NS)
80 - 85 ans	-0,61 (NS)	-1,42 (NS)	0,036 (NS)	-0,17 (NS)
85 - 90 ans	-0,98	-1,65	-0,20 (NS)	-0,44 (NS)
90 - 95 ans				
Périphérie	0,058	0,052 (NS)	-0,011 (NS)	0,047 (NS)
Activité professionnelle	0,10	0,096	0,13	0,11
Vie conjugale	0,049	0,027 (NS)	0,051 (NS)	0,10
Qualification < Bac	-0,28	-0,26	-0,027 (NS)	-0,27
Niveau bac	-0,20	-0,2	-0,15 (NS)	-0,22
1er cycle	-0,12	-0,14	-0,11 (NS)	-0,13
2e cycle	-0,10	-0,12	-0,054 (NS)	-0,093 (NS)
Niveau de vie	0,11	0,12	0,012 (NS)	0,057
Coût d'usage des véhicules (€/km)	-0,40	-0,71	-0,49	-0,36
Enfant additionnel	0 (NS)	0 (NS)	-0,13	-0,04 (NS)
Log-densité	-0,06	-0,066	-0,035 (NS)	-0,057

Tableau 33 : Estimations du modèle log-linéaire d'usage des véhicules sur la période 1994-2010 – Femmes

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Si on se base, pour les raisons déjà indiquées, sur l'estimation *between*, on obtient une estimation de l'élasticité au revenu de l'usage des véhicules de + 0,12 chez les femmes motorisées, donc

inférieure à celle obtenue pour les hommes. Comme pour les hommes toutefois, l'élasticité au coût d'usage des véhicules diffère fortement selon qu'on considère des estimations transversales ou longitudinales. L'estimation « *within* » donne ainsi une élasticité de - 0,49, tandis qu'elle s'élève à - 0,71 selon l'estimation « *between* ». Enfin, cette élasticité est évaluée à - 0,36 avec l'estimateur des MCQG. Les estimations longitudinales sont donc assez proches de celles qu'on obtient chez les hommes, quoiqu'un peu inférieures. En revanche, les estimations transversales sont nettement inférieures.

En se référant toujours à l'interprétation selon laquelle les estimations longitudinales représenteraient des élasticités de moyen terme et les estimations transversales des élasticités de long terme, ce résultat suggère une différence de sensibilité à long terme de l'utilisation des véhicules chez les femmes et chez les hommes. Dans l'ensemble, l'utilisation des véhicules est donc, au moins à long terme, plus sensible aux contraintes financières de revenus et de prix chez les hommes que chez les femmes. Cette différence peut s'expliquer, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer dans la section III.1 consacrée à l'analyse descriptive, par la fonction collective du véhicule principal, qui est aussi utilisé pour les déplacements discrétionnaires du ménage, notamment de loisirs et à longue distance, dont la fréquence est connue pour être davantage liée à des facteurs monétaires. En effet, les ménages réagissent au durcissement des contraintes financières en renonçant de manière prioritaire à leurs déplacements non-obligés, avant d'envisager une réduction de leurs déplacements contraints. Par ailleurs, l'hétérogénéité des niveaux d'usage des véhicules en fonction du coût de la mobilité traduit sans doute aussi, davantage chez les hommes que chez les femmes, les phénomènes d'auto-sélection préalablement mentionnés, le *diesel* étant davantage privilégié pour le véhicule principal du ménage que pour les « citadines » pures qui n'effectuent que des déplacements locaux, ce qui est fréquemment le cas de la seconde voiture. Ainsi, les motorisations chez les femmes sont caractérisées par une prépondérance des véhicules *essence*, tandis que les choix de motorisation sont plus hétérogènes chez les hommes. Les véhicules utilisés pour les déplacements à longue distance tendront également à présenter des niveaux d'usage plus hétérogènes, en fonction des revenus des ménages mais également de leurs préférences en termes de niveau d'utilisation global du véhicule. Pour cette raison, on peut supposer que l'élasticité transversale au coût d'usage des véhicules est probablement davantage surestimée chez les hommes, et que l'estimation de - 0,71 obtenue pour les femmes est une mesure plus juste de l'élasticité à long terme de l'utilisation des véhicules à leur coût d'usage.

Enfin, l'effet de la log-densité sur l'utilisation des véhicules, avec une élasticité estimée à - 0,06, est un peu supérieur à celui qu'on observe chez les hommes, tout en demeurant marginal. Aussi bien chez les hommes que chez les femmes, les effets de localisation apparaissent donc au final bien plus influents sur les niveaux d'équipement que sur l'utilisation des véhicules, un paradoxe dont on a proposé une interprétation plus haut.

Estimation des paramètres par période : 1994-2000 puis 2000-2010

On teste ensuite l'hypothèse d'une inflexion dans les comportements d'usage des véhicules entre les périodes précédant et suivant l'an 2000, en particulier pour ce qui concerne la sensibilité aux prix des carburants. En effet, l'an 2000 est caractérisé, ainsi qu'il a été relevé à de nombreuses reprises tout au long de la thèse, par une rupture de trajectoire tant au niveau de l'utilisation des véhicules que des choix de motorisation, suscitée par l'augmentation des prix des carburants et de leur volatilité. Si les ménages ont changé leur comportement, cette inflexion est donc susceptible

de se refléter dans les élasticités aux prix des carburants avant et après l'an 2000, qui pourraient manifester un renforcement au cours du temps de la sensibilité des individus à leurs variations.

	Hommes - < 2000	Femmes - < 2000	Hommes - > 2000	Femmes - > 2000
Intercept	2,85	3,15	1,67	3,00
G2-3	0,099 (NS)	0,069 (NS)	-0,19 (NS)	0,11 (NS)
G4-5	0,21	0,084 (NS)	-0,32 (NS)	0,073 (NS)
G6-7	0,2	0,13 (NS)	-0,39 (NS)	-0,024 (NS)
G8-9	0,21 (NS)	0,19 (NS)	-0,46 (NS)	-0,15 (NS)
G10-11	0,24	0,28 (NS)	-0,38 (NS)	-0,23 (NS)
G12-13	0,16 (NS)	0,3 (NS)	-0,51	-0,32 (NS)
G14-16	0,26 (NS)	0,092 (NS)	-0,57	-0,69 (NS)
18 - 20 ans	0,04 (NS)	-0,23 (NS)	3,34	1,3
20 - 25 ans	0,31 (NS)	-0,05 (NS)	3,79	1,9
25 - 30 ans	0,41 (NS)	0,1 (NS)	3,91	1,92
30 - 35 ans	0,38 (NS)	0,075 (NS)	3,9	1,8
35 - 40 ans	0,33 (NS)	0,12 (NS)	3,81	1,75
40 - 45 ans	0,39 (NS)	0,12 (NS)	3,82	1,63
45 - 50 ans	0,26 (NS)	0,10 (NS)	3,82	1,49
50 - 55 ans	0,27 (NS)	0,03 (NS)	3,76	1,28
55 - 60 ans	0,24 (NS)	-0,11 (NS)	3,72	1,18
60 - 65 ans	0,19 (NS)	-0,21 (NS)	3,74	1,02 (NS)
65 - 70 ans	0,09 (NS)	-0,36 (NS)	3,67	0,77 (NS)
70 - 75 ans	-0,07 (NS)	-0,61 (NS)	3,5	0,54 (NS)
75 - 80 ans	-0,27 (NS)	-0,52 (NS)	3,23	0,18 (NS)
80 - 85 ans	-0,6 (NS)	-1,89	2,83	0,027 (NS)
85 - 90 ans	-0,29 (NS)	-	2,39	-
Périphérie	0,03 (NS)	0,10	0 (NS)	0,027 (NS)
Activité professionnelle	0,086	0,16	0,12	0,094
Vie conjugale	0,10	-0,019 (NS)	0,10	0,17
Qualification < Bac	-0,18	-0,20	-0,16	-0,33
Niveau bac	-0,08	-0,12	-0,055 (NS)	-0,27
1er cycle	-0,02 (NS)	-0,066 (NS)	0,051 (NS)	-0,18
2e cycle	0,017 (NS)	-0,02 (NS)	0,053 (NS)	-0,15
Niveau de vie	0,13	0,076	0,086	0,045
Coût d'usage des véhicules (€/km)	-0,29	-0,18	-0,45	-0,27
Enfant additionnel	-0,073	-0,036 (NS)	-0,11	-0,012 (NS)
Log-densité	-0,027	-0,045	-0,05	-0,065
$\hat{\sigma}_1^2$	3,5	3,743	12,735	8,085
$\hat{\sigma}_u^2$	0,569	0,581	2,110	1,481
$\sqrt{\hat{\theta}^2}$	0,403	0,394	0,407	0,428

Tableau 34 : Estimateurs des MCQG des paramètres de l'utilisation des véhicules chez les personnes disposant d'un véhicule personnel, avant et après l'an 2000

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

On observe de fait que les élasticités diffèrent fortement selon qu'on considère la période antérieure ou postérieure à l'an 2000. Pour la période précédant l'an 2000, l'élasticité de l'usage des véhicules au coût d'usage est estimée à - 0,29 chez les hommes et - 0,18 chez les femmes, si on retient l'estimateur des MCQG. Les estimations sont donc nettement plus faibles que celles obtenues en considérant l'évolution de l'usage des véhicules sur l'ensemble de la période d'observation. Pour la période postérieure à l'an 2000, elles sont estimées à respectivement - 0,45 et - 0,27. Enfin l'élasticité moyenne, hommes et femmes confondus, progresse de - 0,25 à - 0,37 entre les deux périodes. Ces résultats suggèrent donc effectivement un renforcement de la

sensibilité de l'usage des véhicules aux variations des prix des carburants au passage de l'an 2000, aussi bien pour les hommes que pour les femmes, qui est supérieure de moitié à ce qu'elle était avant le passage de l'an 2000.

En ce qui concerne l'élasticité au revenu de l'usage des véhicules, l'effet de la crise semble moins évident et les évolutions peu claires. En effet, d'après l'estimateur des *MCQG*, celle-ci aurait diminué de + 0,13 à + 0,09 pour les hommes, et de + 0,08 à + 0,05 pour les femmes. En revanche, d'après l'estimateur *between*, elle aurait augmenté, en particulier chez les femmes, avec une progression de + 0,11 à + 0,26, ce qui suggère une rationalisation plus importante de l'utilisation du second véhicule chez les plus modestes, entraînant une hétérogénéité accrue des niveaux d'usage en fonction du revenu après la crise.

Observons également que certains effets deviennent significatifs après l'an 2000, alors qu'ils ne l'étaient pas auparavant. C'est le cas par exemple des effets de génération qui, après l'an 2000, semblent diminuer d'une génération à l'autre chez les hommes, indiquant une réduction hétérogène de l'utilisation des véhicules, plus importante dans les générations récentes. D'une part, celles-ci ont sans doute davantage de possibilités de s'organiser de manière alternative, compte tenu d'un habitat plus urbain, surtout chez les étudiants, qui sont majoritairement localisés en centre-ville¹¹⁴. D'autre part, elles ont peut-être un consentement plus important à accepter une réduction significative de leur niveau d'usage de la voiture.

De même, l'hétérogénéité de l'usage des véhicules en fonction de l'existence d'activité professionnelle semble s'être renforcée, ainsi qu'en fonction de la situation familiale et du lieu de résidence. Enfin, l'hétérogénéité individuelle non-observée a considérablement augmenté après l'an 2000, ce qui suggère également des comportements devenus plus hétérogènes. Par conséquent, l'utilisation des véhicules pourrait présenter, après le choc sur les prix de l'énergie, un caractère moins systématique, et serait davantage évaluée au regard des besoins et des contraintes spécifiques des ménages. Ceux d'entre eux qui n'en ont pas un besoin important et disposant d'alternatives tendraient ainsi à davantage réduire leur utilisation que ceux qui en sont captifs en raison de leur lieu de résidence ou de leurs programmes d'activité. Par exemple, les adultes habitant dans les zones urbaines ont davantage réduit leur utilisation de la voiture que ceux qui résident dans les communes périurbaines et rurales.

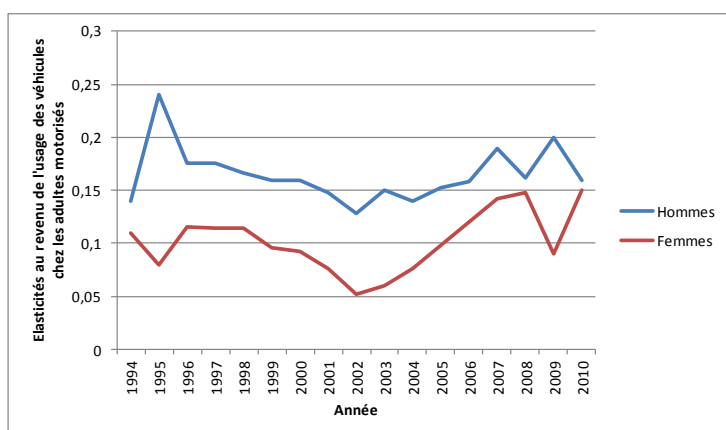
On remarque cependant que l'élasticité au coût d'usage des véhicules est plus élevée lorsqu'on l'estime sur l'ensemble de la période d'observation, que lorsqu'on l'estime séparément pour chacune des périodes. Une interprétation possible de ce résultat consiste à considérer que le processus d'adaptation des ménages et des individus aux variations de prix des carburants inclut à la fois des ajustements de court terme et des adaptations de nature plus substantielle à long terme (*cf. section II.1.b.1*). On peut également supposer que l'échelle temporelle des adaptations

¹¹⁴ Ainsi, 59,5 % des étudiants résident dans les villes-centres, 24,6 % dans l'agglomération parisienne, et 50,5 % dans les aires urbaines de plus de 100 000 habitants. Ces résultats ne s'appliquent pas aux actifs, qui ne sont que 34,9 % à résider dans les villes-centres, 19,1 % dans l'agglomération parisienne, et 27,5 % dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants. D'une manière générale, à l'exception des étudiants, les taux de concentration des jeunes adultes dans les zones densément urbanisées ne diffèrent donc pas fondamentalement du reste de la population. La concentration des étudiants dans les grandes agglomérations peut s'expliquer par la localisation des pôles d'enseignement supérieur et en particulier des universités et des grandes écoles. Cependant, la localisation de ces établissements, souvent en périphérie, n'explique pas la forte concentration des étudiants en centre-ville, qui semble plutôt provenir de la distribution spatiale du parc immobilier locatif, d'une part, de l'attrait de la ville-centre en termes d'animation socioculturelle, festive et commerciale (cinémas, cafés, commerces...), d'autre part.

consenties est corrélée à leur importance et à leur complexité, et que par ailleurs le consentement à des adaptations plus substantielles implique un signal clair et fort sur l'évolution des prix.

En effet, si on considère la période dans son ensemble, on inclut la période antérieure à 2000, caractérisée par des usages élevés et des prix plus faibles, et la période postérieure à 2000, caractérisée par des usages en baisse et des prix plus élevés. Cela revient à comparer les différences d'usage en fonction de différences de prix plus importantes et sur plus longue période : l'élasticité-prix plus élevée pourrait donc traduire le fait que les individus ne réagissent pas seulement à des fluctuations temporaires de prix mais également aux tendances et donc à l'information consolidée sur l'évolution des prix à long terme. Une forte inflexion des comportements au passage de l'an 2000 est ainsi prise en compte dans le cadre d'une évaluation de la sensibilité aux prix des carburants basée sur l'analyse d'une période plus longue, couvrant la période précédant et suivant cette inflexion, alors qu'elle n'est pas prise en compte si on se limite à la période antérieure ou postérieure à l'an 2000. Pour autant, cette inflexion des comportements s'inscrit bien dans le cadre d'une évaluation de la sensibilité aux prix des carburants sur longue période. Une manière de représenter cette information consolidée dans la modélisation pourrait consister à écrire un modèle en différences en intégrant comme régresseurs des variations de prix échelonnées sur plus ou moins longue période, ou encore des variables de prix retardées.

Des élasticités au revenu stationnaires



Graphique 66 : Estimations annuelles des élasticités-revenus, par sexe –lissage sur cinq ans

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

L'explication du déclin tendanciel de l'élasticité au revenu du kilométrage moyen par adulte par la convergence progressive du processus de diffusion de l'automobile vers la saturation repose sur l'hypothèse de stationnarité de l'élasticité au revenu du kilométrage par adulte équipé, compte tenu du déclin tendanciel de l'élasticité au revenu du taux d'équipement. Or, de fait, on observe bien une tendance stationnaire pour l'élasticité au revenu de l'utilisation des véhicules chez les adultes équipés, qui ne montre pas de tendance significative à la hausse ou à la baisse, mais seulement des fluctuations aléatoires autour d'une valeur stationnaire, estimée à + 0,16 pour les hommes et + 0,11 pour les femmes. Ces résultats montrent tout l'intérêt d'une décomposition de l'analyse de l'auto-mobilité par niveaux - permis/utilisateur principal/utilisation des véhicules – qui permet bien de reconstituer le déclin tendanciel de l'élasticité au revenu du trafic automobile souvent relevé dans la littérature.

III.2.d.5) Interprétation

Au regard de l'ensemble des facteurs, l'utilisation de la voiture est dans l'ensemble plus homogène chez les femmes que chez les hommes. Cela peut sembler paradoxal si on se rappelle qu'à l'inverse, l'accès à un véhicule personnel est plus homogène chez les hommes que chez les femmes. Cependant, la motorisation et l'usage des véhicules répondent à des logiques différentes. On a vu que les écarts de motorisation entre hommes et femmes ainsi que le caractère plus hétérogène de la motorisation chez les femmes, traduisait un stade moins avancé du processus de diffusion de l'accès à un véhicule personnel chez les femmes, en même temps qu'une différence de statut entre le véhicule principal et le second véhicule du ménage, le premier pouvant être considéré comme un bien de première nécessité, tandis que le second devait plutôt être considéré comme un bien de statut intermédiaire. A l'inverse, le caractère plus hétérogène, et corrélativement plus sensible, de l'usage du véhicule principal, traduit une différence de spécialisation entre le véhicule principal et le second véhicule, correspondant respectivement à un bien de niveau ménage et à un bien individuel. Au titre de bien de niveau ménage, l'utilisation du véhicule principal est diversifiée. Il sert en effet aussi bien pour les besoins de déplacements du chef de ménage que pour des déplacements obligés effectués en commun, comme les déplacements de loisirs. Sa fonction est donc polyvalente, ce qui la rend plus sensible aux besoins et aux contraintes du ménage. A l'inverse, la fonction du second véhicule serait davantage spécialisée sur les déplacements contraints et individuels.

Le statut du bien, et l'hétérogénéité de sa diffusion, dépendent du stade atteint par le processus de diffusion. En effet, on peut considérer que la différence de statut entre le véhicule principal et le(s) véhicule(s) secondaire(s) du ménage s'explique par un stade plus avancé du processus de diffusion pour le véhicule principal. Pour autant, il n'est pas certain que la diffusion du second véhicule ira aussi loin que celle du véhicule principal, et celle-ci pourrait demeurer en retrait, même à l'avenir. Dans ce cas, le statut de bien intermédiaire actuellement atteint par le véhicule du conjoint deviendrait pérenne au lieu de constituer une phase temporaire, manifestant un seuil de saturation dans sa diffusion nettement inférieur à celui qui sera atteint par le véhicule principal¹¹⁵.

Etant donné son niveau de diffusion, le véhicule principal est caractérisé par une faible hétérogénéité entre les ménages, ce qui permet de l'assimiler à un bien de première nécessité. Cependant, bien qu'une grande partie des ménages soient équipés d'au moins un véhicule, celui-ci ne fait pas toujours l'objet d'un usage intensif, et les situations individuelles sont donc hétérogènes au regard des niveaux d'usage du véhicule principal. Ce paradoxe apparent peut s'interpréter en considérant que la spécialisation et le statut du bien, d'une part, son utilisation, d'autre part, sont en fait régies par des logiques différentes. En effet, le véhicule principal du ménage, tout comme le permis de conduire, peut être interprété dans une certaine mesure comme un capital permanent de mobilité, dont la possession présente un aspect sécurisant, en jouant le rôle d'assurance mobilité, indépendamment de son niveau d'usage réel. Par conséquent, de même que l'utilité du permis de conduire n'est pas seulement déterminée par la nécessité de conduire dans les circonstances présentes du parcours de vie personnel, mais représente un potentiel ou un capital de mobilité permanent pour l'ensemble de la vie, l'utilité de la possession du véhicule principal n'est pas seulement liée au niveau d'utilisation future qui en est attendu, mais également, voire surtout, au potentiel de mobilité qu'il représente, c'est-à-dire qu'il rend la mobilité possible et

¹¹⁵ La stabilisation des niveaux d'équipement depuis 2006 pourrait conduire à soutenir cette hypothèse, bien qu'on ignore quelles sont les contributions respectives des facteurs économiques – notamment la récession de 2008 – et de l'évolution des modes de vie et des mentalités à cette tendance.

adaptable en fonction de circonstances variables. Le niveau d'usage, en effet, peut être modulé en fonction des possibilités financières du ménage, qui peut renoncer à effectuer certains déplacements quand il n'en a pas les ressources : c'est le cas par exemple de la mobilité à longue distance, qui est très inégale en fonction du revenu du ménage. En revanche, le fait de ne pas disposer d'un véhicule peut être très pénalisant et constituer une entrave à la mobilité, même si celle-ci présente un caractère occasionnel. De ce fait, l'utilisation du véhicule principal est plus hétérogène que sa possession. Cette distinction entre potentiel de mobilité et mobilité effective permet de justifier, d'une manière générale, le choix d'une modélisation séquentielle plutôt que conjointe des différents niveaux de l'auto-mobilité. L'hypothèse d'absence de corrélation entre les états de motorisation individuels et les niveaux d'usage des véhicules sera testée dans la suite de l'analyse à partir d'un modèle de type *Tobit II*.

Cette distinction entre potentiel de mobilité et mobilité effective, ou entre le capital que constitue le véhicule personnel et son utilisation sous la forme d'un service auto-produit par le ménage et/ou l'individu, ne s'applique pas de la même manière au véhicule du conjoint. En effet, l'utilité du second véhicule, en tant qu'équipement de confort présentant encore un statut intermédiaire, semble être davantage évaluée en fonction des besoins de mobilité quotidienne du conjoint, notamment en lien avec le lieu de résidence. Par conséquent, on peut s'attendre dans ce cas à ce que l'utilité de sa détention soit plus directement corrélée à son usage effectif, et moins à un potentiel de mobilité théorique. De plus, en raison de la différence de spécialisation des véhicules, les déplacements effectués avec le véhicule du conjoint présentent davantage un caractère contraint, de sorte qu'ils ne peuvent pas faire l'objet des mêmes arbitrages qu'une partie de ceux qui sont effectués avec le véhicule principal. Ce raisonnement permet d'expliquer pourquoi l'usage des véhicules secondaires du ménage est plus homogène que leur possession, à l'inverse de ce qui est observé pour le véhicule principal.

Observons de plus qu'indépendamment de la spécialisation des véhicules du ménage, la diffusion d'un équipement au cours du temps tend à rendre celle-ci de plus en plus homogène au sein de la population¹¹⁶, et donc de plus en plus indépendante des niveaux d'usage qui en sont attendus, qui resteront caractérisés par un certain degré d'hétérogénéité en fonction des besoins et des possibilités du ménage ainsi que de la spécialisation des véhicules. A l'inverse, les niveaux d'équipement seront davantage corrélés aux niveaux d'usage au début du processus de diffusion, lorsque l'opportunité de la possession du bien fera davantage l'objet d'une évaluation *a priori*, celui-ci ne présentant pas encore le caractère d'une norme.

Dans l'analyse qui précède, on a interprété les élasticités au revenu en tant que mesures d'hétérogénéité. En effet, pour les raisons déjà indiquées, les variations au cours du temps de la variable de revenu que nous avons calculée sont peu significatives, et par conséquent les mesures de sensibilité qui en découlent. Aussi, les estimations des élasticités au revenu qui ont servi de base à la précédente analyse sont les estimations *between*, pour ce qui est de l'élasticité au revenu de l'utilisation des véhicules chez les adultes équipés, et l'estimation par le maximum de vraisemblance, pour l'élasticité au revenu de la probabilité d'équipement. Il ne s'agit en aucun cas de mesures de sensibilité. Dans le cas des niveaux d'équipement, l'estimation de mesures de sensibilité nécessiterait en outre plusieurs adaptations du modèle ainsi que de la procédure d'estimation.

Il faudrait tout d'abord pouvoir travailler uniquement dans la dimension longitudinale, ce qui impliquerait sans doute de construire un estimateur du maximum de vraisemblance

¹¹⁶ Du moins lorsque la diffusion a passé un certain stade et se trouve en phase de convergence vers la saturation.

conditionnelle, comme celui qui est utilisé dans le cadre du modèle *logit* conditionnel. Il serait également nécessaire de tenir compte du caractère asymétrique du processus de diffusion d'un bien durable, qui est caractérisé par une augmentation de la diffusion en cas de hausse des revenus, plus importante que le recul susceptible d'accompagner leur diminution (*Dargay, 2001*). La nature de capital permanent, et de potentiel de mobilité, que représentent les véhicules du ménage, permet à nouveau d'expliquer cette asymétrie. En effet, l'acquisition d'un véhicule résulte d'une mobilisation de l'épargne du ménage, parfois constituée pendant plusieurs années, que ce soit par le moyen d'un apport personnel ou du recours au crédit. Elle représente donc un investissement à moyen, voire à long terme. L'augmentation des revenus tend donc à favoriser les décisions d'acquisition de véhicules mais à l'inverse, une baisse temporaire de revenus n'entraîne pas forcément un renoncement à l'équipement automobile, l'individu ou le ménage préférant d'abord recourir à une réduction de son niveau d'usage, dans la mesure où une décision présentant un caractère réversible et préservant l'éventail des possibilités futures est moins coûteuse qu'une décision irréversible, chaque acte d'achat ou de vente générant en effet des coûts de transaction ainsi qu'un délai d'adaptation aux évolutions des circonstances. Compte tenu de cette asymétrie, la diffusion de l'automobile au sein de la population tend à augmenter au fil du temps, ce qui se traduit par une hétérogénéité décroissante. Compte tenu également de cette asymétrie, les estimations des élasticités doivent davantage être assimilées à des mesures d'hétérogénéité qu'à des mesures de sensibilité. La notion de sensibilité n'a d'ailleurs réellement de sens que dans le cadre d'un processus symétrique, ou alors il serait nécessaire de considérer, non la sensibilité du taux d'équipement, mais plutôt celle de l'évolution du taux d'équipement à l'évolution du revenu, ce qui aurait davantage de sens.

Pour les différents véhicules du ménage, on peut donc distinguer trois dimensions distinctes mais qui ne sont pas pour autant indépendantes, et qui évoluent conjointement au cours du temps en relation avec le processus de diffusion de l'automobile :

- Le statut du bien : bien supérieur, bien intermédiaire, bien de première nécessité. A mesure que le bien se diffuse plus largement, son statut décline. En même temps, l'opportunité de sa détention est de moins en moins évaluée *a priori* en fonction des besoins de mobilité et des possibilités financières des ménages, ce qui se reflète dans une diffusion de plus en plus homogène ;
- Son niveau de référence : Est-ce un équipement de niveau individuel ou de niveau ménage ? Considérée à l'origine comme un bien de niveau ménage, la voiture a progressivement évolué vers un statut d'équipement individuel ;
- Sa fonction ou son usage : La voiture est-elle destinée plutôt aux déplacements contraints ou aux déplacements de loisirs ? Remplit-elle une fonction collective pour les déplacements conjoints du ménage ou est-elle réservée à un usage strictement individuel ? Son usage est-il polyvalent ou spécialisé ?

On voit que la question de la spécialisation du véhicule n'est pas indépendante de celle de son niveau de rattachement, qui dépend en effet de l'usage qui en est attendu. La question du niveau pertinent de rattachement est également susceptible d'avoir des implications sur les choix de modélisation, au niveau du ménage ou au niveau de l'individu. Au stade actuel du processus de diffusion de l'automobile, il n'est pas possible de trancher de manière catégorique quant au choix du niveau le plus pertinent auquel rattacher l'analyse de l'auto-mobilité. On peut néanmoins distinguer le cas du véhicule principal du ménage de celui des véhicules secondaires. Le véhicule

principal, en effet, se rattache pour partie à un usage au niveau du ménage, et pour partie à un usage individuel. C'est donc un bien de première nécessité dont l'usage est polyvalent, et intermédiaire entre un bien de niveau ménage et un bien de niveau individuel. Le second véhicule se rattache plutôt à un usage individuel et spécialisé, et représente à l'heure actuelle un bien de statut intermédiaire.

Ces trois dimensions – statut, niveau de rattachement, fonction – ne sont pas figées dans le temps, mais évoluent elles-mêmes avec le processus de diffusion de l'automobile. A mesure que le second véhicule se diffuse, la fonction du véhicule principal tend elle-même à évoluer, en tendant progressivement à perdre son statut de véhicule principal du ménage pour se recentrer sur un usage strictement individuel, dans la mesure où la fonction de véhicule principal tend à devenir moins nécessaire. Du coup, les usages de loisirs pourraient se répartir également de manière plus équilibrée entre les deux véhicules.

Finalement, on peut distinguer différents stades du processus de diffusion de l'automobile auxquels correspondent différents états de la triade *statut-niveau-fonction* des véhicules.

		Premier véhicule	Second véhicule
Première étape	Amorçage du marché de l'automobile	Bien supérieur de niveau ménage, usage loisirs	Marginal
Deuxième étape	Régime de croisière – démocratisation de l'automobile Amorçage du marché du second véhicule	Bien intermédiaire, fonction de niveau ménage et individuel, usage polyvalent	Bien supérieur de niveau individuel, usage spécialisé
Troisième étape	Maturité du marché – ralentissement de la croissance, phase d'approche de la saturation pour le marché du premier véhicule. Régime de croisière – démocratisation pour le marché du second véhicule	Bien de première nécessité, fonction de niveau ménage et individuel, usage polyvalent mais renforcement de la dimension individuelle	Bien intermédiaire de niveau individuel, usage spécialisé mais de plus en plus polyvalent
Quatrième étape	Saturation du marché – le ralentissement s'étend au second véhicule – Usages indifférenciés des véhicules	Bien de première nécessité de niveau individuel, usage polyvalent	Bien de première nécessité de niveau individuel, usage polyvalent

Tableau 35 : Les étapes du processus de diffusion de l'automobile et les évolutions dans les usages des véhicules

On a synthétisé dans le tableau ci-dessus ces différentes étapes, avec les évolutions correspondantes de l'usage des véhicules. Pour chaque véhicule, on distingue quatre phases dans le processus de diffusion : amorçage, régime de croisière ou démocratisation, maturité, saturation. La diffusion du second véhicule se caractérise par un décalage dans le temps par rapport à celle du premier véhicule, mais est néanmoins supposée suivre un processus analogue. Dans ce schéma théorique, la phase actuelle correspondrait à la troisième étape du processus global, caractérisée par la maturité du marché du véhicule principal et une phase de démocratisation du second véhicule. A mesure qu'on avance dans le processus global de diffusion, les usages deviendraient de plus en plus indifférenciés, jusqu'à la disparition complète de la notion de véhicule principal en phase de saturation du marché. Néanmoins, cette phase ne semble pas encore être atteinte.

III.2.d.6) Tableau de synthèse des élasticités et cohérence des résultats avec la littérature

	Revenu (between)	Log-densité (MCQG)	Prix du carburant (MCQG)
Hommes			
Permis	+ 0,07	-0,14	-
Motorisation/permis	+ 0,07	-0,19	-
Sous-total Motorisation	+ 0,14	-0,34	-
Usage/motorisation	+ 0,18	- 0,06 (NS)	-0,56
Total	+ 0,31	-0,40	-
Femmes			
Permis	+ 0,18	-0,39	-
Motorisation/permis	+ 0,25	-1,60	-
Sous-total Motorisation	+ 0,43	-1,99	-
Usage/motorisation	+ 0,11	NS	-0,36
Total	+ 0,53	- 1,99	-
Tous			
Permis	+ 0,13	- 0,28	-
Motorisation/permis	+ 0,17	- 0,96	-
Sous-total Motorisation	+ 0,30	-1,24	-
Usage/motorisation	+ 0,14	NS	-0,45
Total	+ 0,44	-1,24	-

Tableau 36 : Tableau de synthèse des élasticités par sexe et par niveau, dans un processus de décision séquentiel

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

En supposant le processus de décision séquentiel, c'est-à-dire que la probabilité d'avoir le permis de conduire, d'être utilisateur principal d'un véhicule, sachant qu'on a le permis de conduire, et l'utilisation moyenne des véhicules, sachant qu'on est utilisateur principal d'un véhicule sont, toutes choses égales par ailleurs, indépendantes, on obtient pour les élasticités les estimations suivantes :

- L'élasticité au revenu totale du kilométrage moyen par adulte est estimée à + 0,31 pour les hommes, dont + 0,18 pour l'usage des véhicules chez les hommes équipés, et + 0,13 pour la probabilité de motorisation individuelle. L'influence du revenu est donc plus importante sur l'utilisation des véhicules que sur la probabilité d'équipement. Pour les femmes, l'élasticité au revenu du kilométrage par adulte est estimée à + 0,53, dont + 0,43 pour la probabilité d'équipement et + 0,10 pour l'usage des véhicules chez les femmes équipées. L'influence du revenu s'exerce donc chez les femmes principalement sur le taux d'équipement, en raison d'une diffusion encore incomplète du second véhicule. Hommes et femmes confondus, l'élasticité au revenu du kilométrage par adulte est estimée à + 0,44¹¹⁷ ;
- L'élasticité de l'utilisation des véhicules au coût d'usage en carburant chez les personnes équipées est estimée globalement à - 0,45. Elle est plus élevée chez les hommes, pour lesquels elle s'élève à - 0,56, que chez les femmes, pour lesquelles

¹¹⁷ Ainsi que nous venons de le rappeler, les élasticités doivent dans ce cas être interprétées comme des mesures d'hétérogénéité plutôt que de sensibilité. Ils traduisent, au sein de la population, la variabilité des niveaux d'équipement et d'usage des véhicules en fonction du revenu.

elle s'élève seulement à - 0,36 ;

- La variabilité de l'utilisation des véhicules en fonction des caractéristiques de l'environnement bâti du lieu de résidence est très faible. Les effets de la densité sur le kilométrage moyen par adulte proviennent surtout de l'hétérogénéité des niveaux d'équipement selon la densité, qui s'avère un facteur particulièrement discriminant des décisions de s'équiper d'un second véhicule pour les déplacements du conjoint. Ainsi, l'élasticité totale du kilométrage par adulte à la log-densité s'élève à - 0,40 chez les hommes, dont seulement - 0,06 pour l'usage des véhicules chez les hommes équipés, - 0,19 pour la probabilité d'équipement chez les titulaires du permis, et - 0,14 pour la probabilité de détenir le permis. Chez les femmes, elle s'élève à - 1,99, dont - 1,60 pour la probabilité d'équipement des détentrices du permis, et - 0,39 pour la probabilité de détenir le permis.

On compare ensuite les résultats obtenus avec des élasticités issues d'une revue de la littérature. L'analyse des élasticités à partir de travaux empiriques d'économétrie appliquée constitue une branche importante et ancienne de la littérature en économie des transports. Elle est caractérisée par une très grande diversité, tant au niveau des méthodes économétriques, que du type de données utilisées et des résultats. On peut identifier principalement deux types de travaux :

- Des études appliquées qui aboutissent à l'estimation d'élasticités, sans que celle-ci en constitue toutefois le but, ou en tous cas le but exclusif ;
- Des revues des élasticités réalisées par compilation d'un grand nombre d'études empiriques, parfois qualifiées de « *méta-analyses* ». Parmi ces études extensives, on peut citer notamment *Stern* (1990), *Goodwin* (1992), *Espey* (1997, 1998), *Graham et Glaister* (2004), *Goodwin et al.* (2004), *Brons et al.* (2008). On reprend ici les résultats de certaines d'entre elles dont les apports sont importants, en ce qu'elles permettent tout à la fois d'obtenir des valeurs moyennes, des indicateurs de dispersion, et une analyse des principaux facteurs de variabilité des estimations obtenues. *Graham et Glaister* (2004), par exemple, remarquent la forte variabilité des estimations selon le modèle économétrique retenu (statique ou dynamique), le type de données (transversales, séries temporelles, panels ou pseudo-panels), ou encore la période d'observation.

Ils remarquent également que la majeure partie des travaux empiriques portent sur la demande de carburant, plutôt que sur le trafic automobile. Aussi est-il important de présenter également les résultats obtenus pour les élasticités de la consommation de carburant, tout en analysant les relations entre élasticités de la consommation de carburant et élasticités du trafic automobile.

En ce qui concerne tout d'abord l'effet-prix, il fut très tôt remarqué qu'il est double, et qu'il est constitué à la fois d'un effet à court terme, et d'un effet à plus long terme (*Sweeney, 1978 ; Baltagi et Griffin, 1983 ; Graham et Glaister, 2004*). A court terme, le principal effet de l'augmentation du prix du carburant est une réduction de l'utilisation des véhicules, à laquelle correspond également une réduction de la consommation de carburant. Cependant, à plus long terme, les augmentations de prix du carburant entraînent également une évolution dans les choix de motorisation, en faveur de véhicules plus sobres ou de plus grande efficacité énergétique, visant à en maîtriser la consommation. *Walker et Wirl* (1993), *Greene* (1992), *Johansson et Schipper* (1997), par exemple,

montrent que les progrès de l'efficacité énergétique jouent un rôle important dans l'évolution de la demande énergétique. Cette évolution s'effectue notamment *via* la transition vers les motorisations *diesel*, ce que *Graham et Glaister (2004)*, par exemple, expriment par une élasticité de l'efficacité énergétique au prix du carburant. Cet effet secondaire se traduit par une baisse plus importante de la consommation à long terme, mais n'a pas d'effet supplémentaire sur le trafic automobile, de sorte que l'élasticité à long terme de la demande de carburant est plus importante que l'élasticité à long terme du trafic automobile. Comme le relève *Sweeney (1978)*, l'importance des écarts entre effets de court terme et de long terme souligne que l'essentiel des effets de prix sur la demande de carburant sont des effets de long terme à travers l'adaptation du parc de véhicules. En vertu de ce raisonnement, les élasticités-prix à court terme du trafic automobile et de la consommation de carburant n'ont pas de raisons de diverger fortement.

Cependant, les adaptations de l'utilisation des véhicules ne se font pas uniquement à court terme. *Graham et Glaister (2004)*, par exemple, suggèrent qu'à court terme, les adaptations se font surtout par réduction du nombre de déplacements, tandis qu'à plus long terme, les adaptations portent également sur le choix du moyen de transport, des destinations, voire un changement du lieu de résidence. La complexité de l'effet-prix est encore renforcée par la mise en évidence, depuis le début des années 1980, de l'effet de rebond, à savoir que l'amélioration de l'efficacité énergétique, si elle permet dans un premier temps de réduire la consommation, entraîne par la suite un rebond dans l'utilisation des véhicules, ainsi qu'une augmentation de la taille des véhicules (*Khazoom, 1980 ; Greene, 1992 ; Greene et al., 1999 ; Greening et al., 2000 ; Sorrell, 2007 ; Haas et al., 2009*). Certaines études empiriques tendent à montrer qu'à long terme, l'effet de rebond annule partiellement l'économie de carburant résultant de l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules (par ex. *Ajanovic et Haas, 2012*). Cet argument est souvent mis en avant pour justifier le recours à des instruments de politique fiscale en complément des normes techniques, par exemple celles qui sont imposées par l'Union Européenne en vue de maîtriser les consommations énergétiques et les émissions, d'autant que les améliorations techniques mettent beaucoup de temps à produire pleinement leurs effets, compte tenu du rythme de plus en plus lent de renouvellement des véhicules (*Kolli, 2012*). *Ajanovic et Haas (2012)*, en analysant des séries temporelles dans six pays européens - Autriche, Allemagne, Danemark, France, Suède et Italie - pendant la période 1970-2007 et en utilisant des techniques de cointégration et des modèles à correction d'erreur, trouvent par exemple que pour une progression de 100 % de l'intensité énergétique, l'effet de rebond est estimé à 44 %.

Elasticités de l'usage des véhicules et de la consommation de carburant au prix du carburant

Elasticités-prix de la consommation de carburant

A travers l'ensemble des travaux empiriques, les élasticités-prix sont caractérisées par une très forte variabilité en fonction du type de données et de la spécification du modèle, et en particulier de la manière de prendre en compte la temporalité des processus d'adaptation aux évolutions de prix. Ainsi par exemple, *Baltagi et Griffin (1983)*, ainsi que *Graham et Glaister (2004)*, observent que la question de l'élasticité-prix de la demande de carburant n'est pas entièrement résolue et ne

fait pas l'unanimité, avec de fortes variations dans les estimations d'une étude à l'autre. Ils soulignent que la plupart des études économétriques relèvent de faibles élasticités-prix, variant entre - 0,04 et - 0,24. *Houthakker et al. (1974)* trouvent par exemple une élasticité de long terme de - 0,24. Cependant, d'un autre côté, *Sweeney (1978)*, en tenant compte explicitement des caractéristiques du parc de véhicules, trouve une élasticité de long terme de - 0,73 avec une période d'ajustement très longue de quatorze ans, contre - 0,22 au bout d'un an.

Produisant eux-mêmes des estimations à partir de spécifications de la demande à la fois statiques et dynamiques, dans lesquelles le nombre de véhicules par personne est explicitement pris en compte comme variable explicative, *Baltagi et Griffin (1983)* analysent la demande de carburant sur un échantillon de dix-huit pays de l'OCDE de 1960 à 1978. Ils spécifient des modèles dans lesquels l'élasticité-prix de la demande de carburant reflète à la fois des effets de court terme sur l'utilisation des véhicules et des effets de long terme sur l'efficacité énergétique du parc, se traduisant par une moindre consommation. Dans le modèle statique, les estimations obtenues varient de - 0,32 pour l'estimation *within* à - 0,96 pour l'estimation *between*, les estimateurs *MCG* variant de - 0,36 à - 0,47. *Baltagi et Griffin (1983)* interprètent la différence entre estimations *within* et *between* comme une différence entre élasticités de court terme et de long terme, l'hétérogénéité permanente au sein de l'échantillon étant en effet fréquemment considérée comme le reflet de la formation d'un équilibre à long terme. Le niveau très élevé des estimations *between* s'explique vraisemblablement par le fait que les estimations transversales tendent à saisir des effets de long terme, ainsi que le relèvent *Sterner (1990)* et *Dahl (1995)*, mais traduisent aussi des effets de sélection des « gros rouleurs » qui tendent à privilégier des motorisations plus efficaces. Dans le modèle dynamique, l'élasticité-prix de court terme est estimée à - 0,24 contre - 0,52 à long terme avec l'estimation *within*. Avec les estimateurs des *MCG*, on obtient une variation de - 0,64 à - 0,9 pour l'élasticité de long terme. Au final, les élasticités-prix de long terme peuvent être évaluées entre - 0,55 et - 0,9, ce qui recoupe les estimations de *Sweeney (1978)*.

Plus récemment, *Graham et Glaister (2004)* relèvent des élasticités de la demande de carburant aux prix des carburants variant entre - 0,6 et - 0,8 selon les études pour ce qui est des estimations à long terme, et entre - 0,2 et - 0,3 pour les estimations à court terme, l'élasticité moyenne étant évaluée à - 0,25 à court terme et - 0,77 à long terme. Dans le cadre des modèles statiques ne prenant pas en compte de manière explicite les processus dynamiques, l'élasticité-prix moyenne est de - 0,35.

Pour les élasticités de la demande de carburant au coût d'usage en carburants, ils trouvent des valeurs de - 0,26 à court terme et - 1,16 à long terme, l'élasticité de l'efficacité énergétique au coût d'usage en carburants étant estimée à + 0,11 à court terme et + 0,85 à long terme.

Ajanovic et Haas (2012), à partir de méthodes de cointégration, obtiennent une élasticité-prix de la consommation de carburant dans l'Union Européenne de - 0,55 à long terme, et variant entre - 0,06 et - 0,31 selon les pays à court terme. Toutefois, en intégrant explicitement l'efficacité énergétique comme variable explicative, ils obtiennent cette fois une estimation de - 0,4 au lieu de - 0,55 à long terme, l'élasticité-prix se limitant toutefois dans ce cas à l'effet direct du prix sur l'utilisation des véhicules.

En décomposant ces trois effets – effet direct du prix sur la consommation de carburant, effet indirect sur la consommation à travers l’amélioration de l’efficacité énergétique, effet de rebond – ils trouvent une estimation de - 0,3 pour l’effet direct du prix, - 0,3 pour l’effet de l’intensité énergétique, et + 1 pour l’effet de rebond, de sorte que l’effet total de l’intensité énergétique sur la consommation est de + 0,7. Ils montrent que sur longue période, l’effet de rebond tend à annuler l’effet-prix, le seul gain de consommation étant représenté par l’effet de court terme lié au gain d’efficacité.

Elasticités-prix du trafic automobile

Les estimations des élasticités du trafic routier ou de l’utilisation des véhicules par rapport aux prix des carburants ou au coût d’usage des véhicules sont également très variables selon le type de données utilisées, la méthode de modélisation, la spécification du modèle et la période d’observation. *Hensher et al. (1990)* obtiennent une élasticité au coût d’usage des véhicules située entre - 0,22 et - 0,39 sur données australiennes, en fonction du nombre de véhicules du ménage. *Madre et Pirotte (1992)*, dans une étude sur la demande de carburant dans les régions françaises de 1975 à 1993, obtiennent des estimations de - 0,54 avec un modèle à effets fixes, - 0,32 avec l’estimateur *within* du modèle à erreurs composées, et - 0,45 pour l’estimateur des *MCQG* de *Wallace-Hussain (1969)*. *Graham et Glaister (2004)* relèvent une élasticité-prix moyenne du trafic à court terme de - 0,15 dans la littérature, avec une variation entre - 0,01 et - 0,58 et un écart-type de 0,11. Pour l’élasticité à long terme, ils trouvent une moyenne de - 0,31, avec une variation entre - 0,07 et - 1,02 et un écart-type de 0,19. Pour les élasticités du trafic au coût d’usage des carburants, ils trouvent des estimations de - 0,17 à court terme et - 0,57 à long terme. *Goodwin et al. (2004)* rapportent une élasticité moyenne de - 0,35 sur la base d’un grand nombre de recherches économétriques, avec toutefois une grande marge de variation entre - 0,13 et - 0,69 selon les études. *Kemel et al. (2011)* trouvent une élasticité-prix de - 0,46, sur la base d’un panel restreint de seulement trois-cents individus présents dans le panel pendant une décennie. *Collet et Madre (2015)*, dans le rapport *ANDEMO* réalisé pour le compte du PREDIT, trouve une valeur plus faible pour l’élasticité au coût d’usage de l’utilisation des véhicules, estimée à - 0,32, toutefois en ligne avec d’autres estimations antérieures du même auteur, respectivement de - 0,31 (*Collet et al., 2010*) et - 0,37 (*Collet, 2007*). Cette estimation est également en phase avec la valeur moyenne trouvée par *Goodwin et al. (2004)* à partir de la compilation d’un grand nombre d’études économétriques. *Pirotte et Madre (2013)* obtiennent toutefois une estimation beaucoup plus faible, en ligne avec les premières études historiques de l’élasticité au prix du carburant, sur la base d’une analyse en séries temporelles de la consommation de carburant dans les régions françaises. *Ajanovic et Haas (2012)* trouvent une élasticité de long terme du trafic au coût d’usage des véhicules de - 0,44 pour l’Union Européenne, avec toutefois de fortes variations d’un pays à l’autre, l’élasticité la plus élevée étant obtenue pour la France avec - 0,88. L’élasticité du trafic à court terme varie entre - 0,05 et - 0,36 selon les pays.

Les principales sources de variabilité dans les estimations des élasticités-prix semblent notamment pouvoir être rapportées :

- A la variable dépendante : l'élasticité-prix à long terme de la consommation de carburant est plus importante que celle du trafic, en raison du gain d'efficacité énergétique ;
- A la variable exogène : l'élasticité au prix du carburant et au coût d'usage des véhicules en carburant coïncident à court terme, mais différent à long terme, l'élasticité à long terme par rapport au coût d'usage des véhicules étant plus élevée que l'élasticité à long terme par rapport au prix à la pompe. Cela peut s'expliquer par le fait que l'effet du prix du carburant sur l'utilisation des véhicules et la demande de carburant est partiellement amorti par le gain d'efficacité énergétique ;
- A la manière de prendre en compte le temps dans le processus d'adaptation de la consommation de carburant ou de l'utilisation des véhicules. Dans le cadre de modèles dynamiques, les estimations de long terme sont en général nettement supérieures aux estimations de court terme. Par ailleurs, les estimations issues de modèles statiques sont intermédiaires entre des estimations de court et de long terme, ce qui peut s'expliquer par la durée moyenne d'observation des individus dans le panel, qui est généralement de quelques années, ce qui permet de prendre en compte des processus d'adaptation à moyen terme mais pas à très long terme ;
- Aux estimateurs utilisés : en se référant à l'interprétation de *Mundlak (1978)*, les estimations *within* s'apparentent à des estimations de court terme, les estimations *between* à des estimations de long terme. Cette interprétation est généralement reprise dans la littérature appliquée, par exemple dans *Baltagi et Griffin (1983)* ;
- A la période : *Graham et Glaister (2004)* observent que l'élasticité-prix de court terme aurait tendance à augmenter avec le temps. L'élasticité-prix à long terme, en revanche, demeure stationnaire, ce qui impliquerait que les politiques incitatives basées sur le signal-prix conservent leur efficacité, bien que la question de leur équité sociale puisse être soulevée (cf. section II.1.b).

L'élasticité du kilométrage annuel parcouru par les adultes motorisés au coût d'usage des véhicules que nous avons obtenue avec notre modèle, avec une valeur moyenne de - 0,45, s'inscrit donc plutôt dans la fourchette haute des estimations obtenues. Elle est notamment assez proche des estimations de *Ajanovic et Haas (2012)* pour la sensibilité moyenne observée dans l'ensemble des pays de l'Union Européenne, de *Kemel et al. (2011)*, ainsi que de *Madre et Piroette (1992)* pour l'élasticité de la demande de carburant avec l'estimateur des MCQG de Wallace-Hussain. En supposant que les estimations de court terme se tiendraient plutôt entre - 0,2 et - 0,3, et les estimations de long terme entre - 0,6 et - 0,8, ce que suggère la revue de *Graham et Glaister (2004)*, cette élasticité correspondrait plutôt à une valeur de moyen terme, ce qui est cohérent avec le constat qu'ils effectuent d'élasticités estimées dans le cadre de modèles statiques se situant à mi-chemin entre des estimations de court terme et de long terme obtenues dans le cadre de spécifications dynamiques.

Elasticités au revenu de l'usage des véhicules et de la consommation de carburant

Elasticités au revenu de la consommation de carburant

Baltagi et Griffin (1983) obtiennent des élasticités au revenu de + 0,66 avec l'estimateur *within* dans le cadre du modèle statique, + 0,54 avec l'estimateur des MCG de *Wallace-Hussain* et + 0,97 pour l'estimateur *between*. *Graham et Glaister (2004)*, sur la base d'un grand nombre d'études économétriques, obtiennent une élasticité au revenu moyenne de + 0,39 à court terme et de + 0,72 à long terme. *Ajanovic et Haas (2012)* trouvent, selon les pays, des élasticités au revenu de la consommation de carburant variant entre + 0,08 et + 1,61 à court terme, et entre + 0,49 et + 1,95 à long terme.

Elasticités au revenu du trafic automobile

Greene et Hu (1986) et *Mannering et Winston (1985)*, en contrôlant le niveau de motorisation, rapportent respectivement des élasticités au revenu de + 0,13 et + 0,11 pour le trafic automobile aux Etats-Unis. En contrôlant le niveau de motorisation, *Hensher et al. (1990)*, sur la base de données australiennes portant sur l'aire urbaine de Sydney, trouvent des élasticités au revenu variant de + 0,05 pour les ménages mono-motorisés à + 0,14 pour les ménages disposant de deux voitures ou plus, des valeurs intermédiaires de + 0,07 et + 0,09 étant obtenues respectivement pour les ménages disposant de trois et quatre voitures. Néanmoins, seule l'élasticité au revenu de l'usage de la voiture pour les ménages disposant de deux voitures est significative. Ces résultats soulignent que l'usage des véhicules, d'une manière générale, est peu sensible au revenu dès lors qu'on contrôle la motorisation. Le revenu exerce donc surtout une influence sur la capacité des ménages à se motoriser et surtout à se multi-motoriser.

Madre et Pirotte (1992) obtiennent des élasticités au revenu de + 0,25 avec le modèle à effets fixes, + 0,97 avec l'estimation *between* dans le cadre du modèle à erreurs composées, et + 0,55 avec l'estimation par les MCQG dans la méthode de *Wallace-Hussain (1969)*.

Goodwin et al. (2004) montrent une très forte variabilité des estimations des élasticités au revenu, de + 0,03 à + 1,44, avec une moyenne de + 0,45. Toutefois, les auteurs ne distinguent pas entre ces études selon qu'elles contrôlent ou non la motorisation. *Berri et al. (2005)*, *Collet (2012)*, *Pirotte et Madre (2013)* rapportent des élasticités au revenu de l'usage des véhicules proches de + 0,5. Cependant, ces études ne contrôlent pas non plus le niveau de motorisation.

Notons que *Graham et Glaister (2004)* relèvent l'intérêt de prendre en compte explicitement la motorisation dans les modèles, dans la mesure où le trafic peut s'exprimer comme le produit du taux d'équipement par les distances parcourues, les deux facteurs ayant leur propre sensibilité aux contraintes économiques de revenus et de prix qui ne coïncident pas nécessairement. Ils relèvent que les élasticités du trafic peuvent s'exprimer comme la somme des élasticités du parc de véhicules et des distances parcourues, que ce soit pour l'effet des prix ou celui des revenus. Cette approche, à la base d'une décomposition de la sensibilité globale du trafic en fonction des différentes composantes de l'auto-mobilité, est celle que nous avons retenue dans cette thèse.

En contrôlant le niveau de motorisation, *Kemel et al. (2011)* obtiennent une élasticité au revenu de + 0,16, soit un résultat très proche de celui trouvé par *Collet et Madre (2015)* avec + 0,15.

En conclusion, l'élasticité au revenu du kilométrage par adulte semble dépendre avant tout du fait qu'on contrôle ou non le niveau d'équipement, en se situant autour de + 0,5 dans le second cas, contre + 0,15 dans le premier. C'est qu'on ne mesure pas la même chose. Dans le premier cas en effet, on mesure l'effet total du revenu sur le kilométrage moyen par adulte, qui est constitué à la fois de son effet sur le niveau d'équipement et de son effet sur l'utilisation des véhicules chez les adultes équipés, tandis que dans le second cas, on ne mesure que son effet sur l'utilisation des véhicules chez les adultes équipés. C'est le premier effet qui est le plus important, l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés étant finalement assez homogène.

L'autre grande source de variabilité dans les estimations des élasticités au revenu est la période. Les estimations sont dans l'ensemble plus élevées lorsque la période d'observation était plus ancienne, indiquant que l'élasticité au revenu décroît tendanciellement au cours du temps, notamment en l'absence de contrôle du taux d'équipement, un déclin qui s'explique, ainsi que nous l'avons déjà montré, par le processus de diffusion du véhicule personnel, qui converge progressivement vers la saturation. Au contraire, l'élasticité au revenu de l'usage des véhicules, dans lesquelles on contrôle le niveau de motorisation, est caractérisée par une tendance stationnaire. A long terme, l'élasticité au revenu du kilométrage moyen par adulte tendrait donc à converger vers une valeur asymptotique, qui dépendra à la fois de l'hétérogénéité permanente des niveaux d'usage des véhicules en fonction du revenu et de l'hétérogénéité résiduelle dans la diffusion de l'automobile en phase de saturation.

Le déclin tendanciel de l'élasticité au revenu du trafic est explicitement pris en compte dans les projections du *Department for Transport (DfT)*, qui prévoient une baisse de l'élasticité du trafic automobile moyen par personne au PIB/tête de + 0,28 à + 0,19 entre 2010 et 2035. Les auteurs du rapport soulignent qu'en raison de cette évolution, les déterminants économiques du trafic devraient peser de moins en moins à l'avenir par rapport aux facteurs démographiques et spatiaux, ce qui rejoint l'hypothèse de *Litman (2011)*.

L'élasticité moyenne au revenu du kilométrage par adulte que nous avons obtenue à partir de notre modèle, avec une valeur de + 0,44, est assez proche de l'estimation moyenne trouvée par *Goodwin et al. (2004)* dans le cadre d'une revue de la littérature, ainsi que par les analyses sur données françaises conduites par *Berri et al. (2005)*, *Collet (2012)*, *Madre et Pirotte (1992, 2013)*. L'estimation que nous avons obtenue en contrôlant le niveau de motorisation, de + 0,14, est également assez proche des valeurs trouvées par *Greene et Hu (1986)*, *Mannering et Winston (1985)*, *Kemel et al. (2011)* ou encore *Collet et Madre (2015)*, qui sont très proches à près de trois décennies d'écart, confirmant le caractère stationnaire de l'hétérogénéité des niveaux d'usage des véhicules en fonction du revenu.

Elasticités au revenu du taux d'équipement

Eltony (1993) trouve dans les provinces canadiennes, en s'appuyant sur des séries temporelles et des enquêtes transversales de 1969 à 1988, une élasticité au revenu des ventes de voitures neuves

de + 0,34. *Johansson et Schipper (1997)* estiment, dans le cadre d'une analyse de la demande de carburant dans douze pays de l'OCDE entre 1973 et 1992, des élasticités du nombre de voitures par personne au revenu de + 0,08 à court terme et + 1,0 à long terme. *Romily et al. (1998)*, estimant un modèle d'équipement automobile pour la Grande-Bretagne à partir de séries temporelles pour la période de 1953 à 1988, trouvent une élasticité au revenu du nombre de voitures par personne de + 0,34 à court terme, et de + 1,14 à long terme. *Fridström (1998)*, sur la base d'une approche de type « pseudo-panel », appliquée à la Norvège de 1973 à 1994, trouvent une élasticité de long terme de la motorisation au revenu de + 1,2. *Bjorner (1999)*, sur la base de deux enquêtes ménages sur l'usage de la voiture au Danemark en 1992 et en 1993, estime l'élasticité au revenu du taux d'équipement à + 0,41. *Dargay et Vythoulkas (1999)*, estimant un modèle dynamique de motorisation au Royaume-Uni sur la base d'une approche de type pseudo-panel, en s'appuyant sur les enquêtes *Budget des Familles* de 1982 à 1993, obtiennent des élasticités au revenu de court terme variant entre + 0,24 et + 0,30 selon le niveau de revenu, et des élasticités de long terme variant entre + 0,65 et + 0,80. *Graham et Glaister (2004)*, sur la base d'un grand nombre d'études économétriques, relèvent une élasticité moyenne du taux d'équipement au revenu de + 0,28 à court terme, et de + 0,74 à long terme. Toutefois, *Dargay (2001)* relève que les élasticités au revenu du taux d'équipement sont asymétriques en cas de hausse et de baisse des revenus, le taux d'équipement réagissant davantage dans le premier cas que dans le second, ce dont on a proposé une interprétation un peu plus haut.

Les élasticités au revenu des taux d'équipement correspondent donc clairement à la différence entre l'élasticité au revenu du trafic moyen par personne et l'élasticité au revenu de l'usage des véhicules en contrôlant le niveau d'équipement. L'estimation que nous avons obtenue pour l'élasticité au revenu du taux d'équipement, de + 0,30, est relativement en phase avec les estimations obtenues dans le cadre de modèles statiques ou les estimations de court terme obtenues dans le cadre de modèles dynamiques. Compte tenu de la clarification que nous avons apportée dans le cadre de la section II.3.c au sujet de la différence entre hétérogénéité et sensibilité, ou entre estimations transversales et longitudinales, elles doivent cependant être interprétées davantage comme une mesure d'hétérogénéité que de sensibilité, d'autant que nous avons ici mis en œuvre un modèle statique plutôt que dynamique, et que les variations de revenu dans la dimension longitudinale ne sont pas significatives.

Elasticités-prix du taux d'équipement

Sweeney (1978) ainsi que de nombreux autres auteurs ont observé que l'influence des prix des carburants sur les taux d'équipement était très faible. *Eltony (1993)*, dans une étude sur les provinces canadiennes, estime que l'élasticité du nombre de voitures par ménage au prix du carburant s'élève à - 0,12. *Johansson et Schipper (1997)* estiment l'élasticité du taux d'équipement au prix du carburant à - 0,02 à court terme et - 0,10 à long terme. *Fridström (1998)* obtient pour la Norvège une élasticité de long terme du taux d'équipement au coût d'usage en carburant un peu plus importante, évaluée à - 0,24.

Ces résultats justifient notamment notre choix de ne pas inclure les prix des carburants dans les variables explicatives du modèle de motorisation. Cette faible influence s'explique par le fait que les ménages cherchent avant tout à réagir à l'augmentation des prix des carburants par une

réduction de l'utilisation des véhicules, plutôt que par le renoncement aux véhicules qui s'avèrent essentiels dans un grand nombre de situations de la vie quotidienne, pour assurer les besoins de mobilité du ménage. A plus long terme, l'adaptation du stock de véhicules se fait plutôt de manière qualitative que quantitative à travers la recherche d'une amélioration de l'intensité énergétique des véhicules. C'est notamment ce qu'on a pu observer après le choc de l'an 2000 qui s'est traduit par une accélération de la transition vers les motorisations *diesel*. Cependant, à moyen terme, le rythme de croissance du parc automobile peut être stimulé par l'évolution du prix du carburant, ce qui semble avoir été le cas pendant la décennie 2000, dans la mesure où les ménages ont anticipé un certain nombre de décisions d'achat de véhicules qui étaient projetées. Il pourrait donc malgré tout être intéressant, dans le cadre d'une amélioration du modèle, d'intégrer une sensibilité de l'évolution du parc aux prix des carburants, en distinguant ce dernier selon le type de motorisation. Il est clair également que l'évolution de la structure du parc par type de motorisation dépendra dans une large mesure de l'évolution respective des prix du gazole et de l'essence, ainsi que des réglementations plus ou moins favorables à tel ou tel type de véhicule – par exemple, actuellement, sont mises en œuvre des mesures de restriction de la circulation des véhicules *diesel* dans un certain nombre de villes en vue de lutter contre la pollution - et des performances de chaque type de véhicules.

Dans l'ensemble, les élasticités moyennes trouvées pour la motorisation, l'usage des véhicules chez les adultes motorisés, et le kilométrage moyen par adulte, s'inscrivent donc bien en phase avec les valeurs trouvées dans la littérature, à condition toutefois de tenir compte des spécifications des modèles ainsi que des estimateurs retenus. Outre la nécessité d'une décomposition de l'analyse par niveaux permettant de dissocier les comportements d'usage des véhicules du processus de diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel au sein de la population, qui constituent des conditions nécessaires à l'usage des véhicules, il convient également de distinguer entre effets à court terme et à long terme, ainsi qu'entre hétérogénéité et sensibilité. Dans le cas de la diffusion d'une aménité, l'estimation d'une mesure de sensibilité implique par ailleurs sans doute de tenir compte de l'asymétrie du processus de diffusion, et de raisonner sur les variations au cours du temps dans la diffusion de l'aménité plutôt que sur sa diffusion à un instant donné, ce qui peut être mis en œuvre soit au travers d'estimations du maximum de vraisemblance conditionnelle dans la dimension longitudinale, soit au travers d'estimations sur données organisées en « pseudo-panels ».

III.2.e) Evaluation a posteriori de l'hypothèse séquentielle

Pour finir, on évalue *a posteriori* l'hypothèse d'indépendance des décisions de motorisation et d'usage par l'estimation d'un modèle joint de motorisation et d'usage de type *Tobit II*, que l'on estime par la méthode en deux étapes de *Heckman (1979)*. Les indicatrices des générations nées avant 1975 sont utilisées comme instruments, les effets de génération étant déterminants pour les taux d'équipement mais non-significatifs pour ce qui est de l'utilisation des véhicules. L'estimation du modèle permet notamment d'estimer les λ_i de *Heckman (cf. annexe 4)*, que l'on introduit comme régresseurs auxiliaires dans le modèle d'usage des véhicules. Le coefficient des λ_i peut alors être interprété comme la covariance entre les perturbations des deux modèles.

Variable	Estimation	Erreur-type	T-test	Intervalle de confiance		$P>(t)$
G ₈₋₉	0,418	0,119	3,50	0,184	0,652	0,0005
G ₁₀₋₁₁	0,744	0,129	5,75	0,490	0,997	<,0001
G ₁₂₋₁₃	0,956	0,154	6,20	0,654	1,2585	<,0001
G ₁₄₋₁₆	0,110	0,199	0,550	-0,280	0,501	0,5801
18 - 20 ans	-2,557	0,240	-10,660	-3,027	-2,087	<,0001
20 - 25 ans	-1,572	0,182	-8,650	-1,929	-1,216	<,0001
25 - 30 ans	-1,293	0,153	-8,440	-1,594	-0,993	<,0001
30 - 35 ans	-1,133	0,143	-7,920	-1,414	-0,853	<,0001
35 - 40 ans	-0,930	0,138	-6,750	-1,201	-0,660	<,0001
40 - 45 ans	-0,786	0,129	-6,080	-1,040	-0,533	<,0001
45 - 50 ans	-0,637	0,111	-5,720	-0,856	-0,419	<,0001
50 - 55 ans	-0,392	0,092	-4,250	-0,573	-0,211	<,0001
55 - 60 ans	-0,143	0,067	-2,120	-0,275	-0,011	0,0339
70 - 75 ans	0,146	0,051	2,88	0,047	0,246	0,004
75 - 80 ans	-0,117	0,061	-1,910	-0,238	0,003	0,0563
80 - 85 ans	-0,567	0,090	-6,290	-0,744	-0,390	<,0001
85 - 90 ans	-1,426	0,158	-9,050	-1,736	-1,117	<,0001
90 - 95 ans	-1,933	0,256	-7,540	-2,436	-1,430	<,0001
> 95 ans	-3,099	0,642	-4,830	-4,357	-1,841	<,0001
Activité professionnelle	-0,030	0,066	-0,460	-0,159	0,098	0,6438
Vie de couple	1,2585	0,056	22,540	1,1490	1,3679	<,0001
Niveau de vie	0,000	0,000	14,530	0,000	0,000	<,0001
Enfant additionnel	-0,009	0,031	-0,290	-0,070	0,051	0,7691
Log-densité	0,066	0,009	7,47	0,049	0,084	<,0001
$\hat{\sigma}_{\eta}^2$	4,065	0,139	29,290	3,793	4,337	<,0001

Tableau 37 : Table des paramètres d'un modèle de motorisation dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les hommes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Variable	Estimation	Erreur-type	T-test	Intervalle de confiance		P>(t)
Intercept	3,353	0,845	3,97	1,697	5,009	<,0001
18 - 20 ans	3,079	0,842	3,66	1,429	4,729	0,0003
20 - 25 ans	3,075	0,787	3,91	1,533	4,617	<,0001
25 - 30 ans	3,213	0,784	4,10	1,676	4,750	<,0001
30 - 35 ans	3,206	0,784	4,09	1,669	4,742	<,0001
35 - 40 ans	3,156	0,784	4,03	1,620	4,693	<,0001
40 - 45 ans	3,226	0,784	4,12	1,690	4,763	<,0001
45 - 50 ans	3,176	0,784	4,05	1,639	4,712	<,0001
50 - 55 ans	3,150	0,784	4,02	1,614	4,686	<,0001
55 - 60 ans	3,075	0,783	3,93	1,539	4,610	<,0001
60 - 65 ans	3,132	0,783	4,00	1,597	4,666	<,0001
65 - 70 ans	3,095	0,783	3,95	1,560	4,629	<,0001
70 - 75 ans	2,934	0,783	3,75	1,399	4,468	0,0002
75 - 80 ans	2,701	0,783	3,45	1,167	4,236	0,0006
80 - 85 ans	2,457	0,784	3,14	0,921	3,993	0,0017
85 - 90 ans	2,181	0,787	2,77	0,638	3,724	0,0056
90 - 95 ans	1,357	0,817	1,66	-0,245	2,958	0,0968
Périphérie	-0,011	0,023	-0,5	-0,056	0,033	0,6162
Activité professionnelle	0,089	0,035	2,54	0,020	0,157	0,011
Vie de couple	0,147	0,023	6,40	0,102	0,192	<,0001
< Bac	-0,060	0,033	-1,8	-0,126	0,005	0,0712
Bac	0,074	0,035	2,15	0,006	0,142	0,0319
1er cycle	0,120	0,036	3,33	0,049	0,190	0,0009
2ème cycle	0,120	0,042	2,84	0,037	0,204	0,0045
Niveau de vie	+ 0,204	0,015	13,95	0,175	0,232	<,0001
Prix/km	-0,399	0,103	-3,88	-0,600	-0,197	0,0001
Nombre d'enfants	-0,064	0,029	-2,25	-0,120	-0,008	0,0246
Log-densité	-0,051	0,006	-8,21	-0,063	-0,039	<,0001
Trend temporel	-0,027	0,002	-12,01	-0,032	-0,023	<,0001
λ_i	0,022	0,013	1,72	-0,003	0,046	0,0858

Tableau 38 : Table des paramètres d'un modèle d'usage avec régresseurs auxiliaires dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les hommes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Après estimation du modèle d'usage, il s'avère que le coefficient de covariance n'est pas significatif. On en conclut donc à l'absence de corrélation entre les termes d'erreur des modèles de motorisation et d'usage, ce qui tendrait à valider *a posteriori* le choix initial d'un modèle séquentiel dans lequel les choix de motorisation sont, toutes choses égales par ailleurs, indépendants des niveaux d'usage.

Variable	Estimation	Erreur-type	T-test	Intervalle de confiance		P>(t)
G8-9	0,448	0,111	4,03	0,230	0,666	<,0001
G10-11	1,2852	0,144	8,94	1,0035	1,5669	<,0001
G12-13	1,3506	0,161	8,40	1,0355	1,6658	<,0001
G14-16	0,335	0,239	1,40	-0,133	0,803	0,161
18 - 20 ans	-1,549	0,232	-6,670	-2,005	-1,094	<,0001
20 - 25 ans	-0,448	0,178	-2,520	-0,796	-0,099	0,012
25 - 30 ans	-0,069	0,155	-0,450	-0,374	0,235	0,656
30 - 35 ans	0,195	0,150	1,30	-0,099	0,488	0,194
35 - 40 ans	0,377	0,141	2,67	0,100	0,654	0,008
40 - 45 ans	0,373	0,127	2,94	0,125	0,622	0,003
45 - 50 ans	0,515	0,102	5,04	0,315	0,715	<,0001
50 - 55 ans	0,452	0,080	5,63	0,295	0,610	<,0001
55 - 60 ans	0,235	0,063	3,71	0,111	0,359	0,000
70 - 75 ans	-0,245	0,062	-3,940	-0,366	-0,123	<,0001
75 - 80 ans	-0,593	0,085	-6,970	-0,760	-0,426	<,0001
80 - 85 ans	-1,135	0,122	-9,300	-1,374	-0,896	<,0001
85 - 90 ans	-1,982	0,205	-9,660	-2,384	-1,580	<,0001
90 - 95 ans	-3,364	0,403	-8,340	-4,154	-2,573	<,0001
> 95 ans	-6,035	0,003	-1951,800	-6,041	-6,029	<,0001
Activité professionnelle	0,551	0,057	9,75	0,440	0,662	<,0001
Vie conjugale	-1,272	0,066	-19,250	-1,401	-1,142	<,0001
Niveau de vie	0,000	0,000	12,88	0,000	0,000	<,0001
Enfant additionnel	0,263	0,037	7,09	0,191	0,336	<,0001
Log-densité	-0,157	0,010	-16,310	-0,176	-0,138	<,0001
$\hat{\sigma}_{\eta}^2$	4,7184	0,145	32,660	4,4351	5,0016	<,0001

Tableau 39 : Table des paramètres d'un modèle de motorisation dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les femmes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

Variable	Estimation	Erreur-type	T-test	Intervalle de confiance		P>(t)
Intercept	5,901	0,788	7,49	4,356	7,447	<,0001
18 - 20 ans	0,762	0,757	1,01	-0,722	2,245	0,314
20 - 25 ans	0,910	0,649	1,40	-0,363	2,183	0,161
25 - 30 ans	0,977	0,649	1,50	-0,296	2,250	0,132
30 - 35 ans	0,927	0,649	1,43	-0,345	2,200	0,153
35 - 40 ans	0,909	0,649	1,40	-0,363	2,181	0,161
40 - 45 ans	0,857	0,649	1,32	-0,415	2,129	0,187
45 - 50 ans	0,900	0,649	1,39	-0,373	2,172	0,166
50 - 55 ans	0,813	0,648	1,25	-0,457	2,084	0,210
55 - 60 ans	0,717	0,647	1,11	-0,551	1,986	0,268
60 - 65 ans	0,634	0,646	0,98	-0,632	1,901	0,326
65 - 70 ans	0,575	0,646	0,89	-0,691	1,840	0,373
70 - 75 ans	0,438	0,645	0,68	-0,826	1,702	0,497
75 - 80 ans	0,138	0,644	0,21	-1,125	1,400	0,831
80 - 85 ans	-0,112	0,645	-0,17	-1,376	1,153	0,863
85 - 90 ans	-0,387	0,659	-0,59	-1,678	0,905	0,558
Périphérie	0,089	0,032	2,83	0,027	0,152	0,005
Activité professionnelle	0,162	0,034	4,74	0,095	0,230	<,0001
Vie de couple	0,107	0,039	2,75	0,031	0,183	0,006
< Bac	-0,258	0,054	-4,81	-0,363	-0,153	<,0001
Bac	-0,116	0,051	-2,250	-0,216	-0,015	0,025
1er cycle	-0,045	0,052	-0,86	-0,147	0,058	0,392
2ème cycle	-0,054	0,058	-0,93	-0,167	0,059	0,351
Niveau de vie	0,145	0,017	8,30	0,111	0,179	<,0001
Prix/km	-0,477	0,159	-3,000	-0,788	-0,165	0,003
Nombre d'enfants	0,000	0,038	0,000	-0,074	0,073	0,997
Log-densité	-0,048	0,010	-4,770	-0,067	-0,028	<,0001
Trend temporel	-0,025	0,003	-8,440	-0,031	-0,019	<,0001
λ_i	-0,036	0,034	-1,070	-0,102	0,030	0,283

Tableau 40 : Table des paramètres d'un modèle d'usage avec régresseurs auxiliaires dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les femmes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman

Source : Enquêtes annuelles ParcAuto de 1993 à 2010, TNS-SOFRES, SOes-IFSTTAR-ADEME-CCFA

En appliquant la même méthode pour les femmes, on trouve de même que le coefficient du λ_i n'est pas significatif, indiquant qu'il n'y a pas de facteurs inobservés exerçant simultanément une influence sur les choix de motorisation et les niveaux d'usage. On peut donc considérer au vu de ces résultats qu'une modélisation séquentielle des décisions de motorisation et d'usage constitue une approximation satisfaisante pour la prévision, dans le cadre par exemple de projections de trafic.

CONCLUSION

L'automobile occupe une place fondamentale dans notre société, au point qu'on a pu parler jadis de « civilisation de l'automobile ». En particulier, elle a largement contribué à façonner les modes de vie contemporains. Elle apporte également une contribution fondamentale à l'activité économique du pays, par le nombre d'emplois qu'elle contribue à générer directement ou indirectement, par l'ensemble des secteurs d'activité qu'elle mobilise, par son importance dans le budget des ménages. Enfin, sa dimension symbolique n'est pas à négliger, tant au niveau de l'imaginaire des consommateurs que des enjeux collectifs associés à l'automobile. Dans l'imaginaire des consommateurs, elle a d'abord représenté un symbole de la prospérité retrouvée de l'après-guerre, mais également de liberté et d'autonomie, avant de véhiculer aussi plus tardivement des images de puissance et de virilité, véhiculées notamment par le marketing et la publicité. Elle constitue également un moyen pour les individus de se différencier en affichant leur position sociale à travers la gamme de véhicules qu'ils possèdent. Cependant, cette image initialement positive de l'automobile tend à se déprécier au fil du temps ou du moins à rencontrer un moins large consensus. La critique sociétale porte d'abord, dans les années 1970, sur les externalités négatives de la voiture, et en particulier sur les atteintes au cadre de vie et à la qualité de vie qui découlent de son usage, qu'il s'agisse de la pollution, du bruit, de la congestion et de l'insécurité routière, à une époque caractérisée par un niveau très élevé d'accidentologie. Avec le changement climatique, ce sont les questions environnementales qui prendront le relais dans les préoccupations des pouvoirs publics à partir des années 1990, à l'issue des protocoles de Rio et de Kyoto et de la mise en œuvre de la loi LAURE obligeant les grandes agglomérations à se doter de plans de déplacements urbains en vue de limiter ou de réduire la place de la voiture en ville. La perspective de plus en plus rapprochée du « *peak oil* » et la dépendance énergétique du pays à l'égard des énergies fossiles font également partie des facteurs qui amènent les pouvoirs publics à vouloir modérer l'usage de la voiture. Vers la fin des années 1990, émerge également en France la question de la dépendance automobile des ménages qui résident au sein des espaces périurbains, dans un contexte marqué par une forte augmentation du prix du carburant depuis le milieu des années 1990. Ces derniers, en effet, disposent de peu d'alternatives à la voiture, et pourraient donc se trouver fragilisés si la hausse des prix devait se poursuivre au même rythme que pendant la décennie passée.

En dépit de ces critiques de plus en plus appuyées, la voiture demeure essentielle aux déplacements quotidiens d'une grande partie de nos concitoyens, et sa position centrale au sein du « système de la mobilité » n'a cessé de se renforcer depuis la seconde guerre mondiale. L'usage de la voiture s'est ainsi démocratisé pour s'étendre à une proportion toujours plus large de la population française, de sorte que la proportion de ménages motorisés n'a cessé de croître, près de quatre ménages sur cinq étant désormais équipés d'au moins un véhicule. Par ailleurs, au fil du temps, la demande s'est reportée vers le multi-équipement, faisant de l'automobile un bien de plus en plus individuel. Cette évolution traduit notamment la disponibilité croissante d'un véhicule personnel chez les femmes qui s'est poursuivie jusqu'aux générations nées pendant les années 1970, et dont les causes sont elles-mêmes multiples : participation croissante des femmes à l'activité professionnelle accompagnant le développement de l'emploi tertiaire salarié,

urbanisation de plus en plus diffuse, évolution des mentalités et des rôles de genre. L'ensemble de ces facteurs ont contribué à l'augmentation des besoins de mobilité des femmes, en raison à la fois des déplacements professionnels à accomplir et des distances toujours plus élevées à parcourir, et à relâcher les entraves à l'acquisition d'un second véhicule par les ménages, du fait notamment de la proportion croissante de femmes titulaires du permis de conduire, et de l'apport d'un second revenu au sein du ménage. Plus récemment, la tendance au multi-équipement s'est trouvée renforcée par la proportion croissante de jeunes disposant d'un véhicule personnel parmi ceux qui demeurent au foyer parental, leur garantissant une certaine autonomie dans leurs déplacements. Avec la diffusion du multi-équipement, les véhicules tendent à être utilisés de plus en plus individuellement, ce qui entraîne une baisse du nombre moyen d'occupants par véhicule, en particulier pour les déplacements vers le travail. Par ailleurs, le nombre moyen de voitures par adulte en âge de conduire s'accroît. Enfin, l'usage des véhicules tend à se spécialiser davantage. Ce sont les seniors et les femmes qui apportent désormais la contribution la plus forte à la croissance de l'équipement automobile et de l'usage de la voiture. Contrairement aux générations nées avant la guerre, les retraités issus des générations du « baby-boom » tendent à conserver leurs véhicules au-delà de la retraite, ainsi que leurs habitudes passées de conduite. Cependant, en dépit de la progression continue des niveaux d'équipement, la diffusion du permis de conduire ainsi que de la disponibilité d'un véhicule personnel pourraient demeurer inachevées, en raison d'entraves persistantes, notamment éducatives et financières, mais également dans les cas d'absence de besoin, notamment chez les habitants des zones les plus densément urbanisées qui disposent d'alternatives performantes à la voiture, notamment au niveau de l'offre de transports en commun. Ainsi, on constate que les taux de motorisation demeurent très faibles dans l'agglomération parisienne, en dépit d'un niveau de vie plus élevé en moyenne que l'ensemble de la population française.

Avec la diffusion de la voiture, les comportements de mobilité se sont transformés, dans le sens d'une augmentation de la part des déplacements effectués en voiture. En parallèle, les moyens de transport alternatifs à la voiture ont décliné, qu'il s'agisse du tramway ou du vélo, par exemple. En lien avec la proportion croissante de déplacements effectués en voiture, leur vitesse et leur distance moyenne ont continuellement progressé, ainsi que la circulation automobile totale et le kilométrage moyen parcouru en voiture par personne et par an. En outre, les déterminants principaux de la mobilité ont évolué, dans le sens d'une moindre influence des facteurs sociodémographiques, et d'un renforcement des différences de comportements selon le lieu de résidence. Ainsi, du fait la proportion croissante d'adultes disposant d'un véhicule personnel, les comportements de mobilité sont de moins en moins différenciés en fonction du genre, du revenu, de la génération et de l'âge. A l'inverse, on observe des écarts de plus en plus importants, tant au niveau des taux d'équipement que de l'usage de la voiture et du partage modal, entre les pratiques des résidents des agglomérations et celles des espaces d'urbanisation diffuse, incluant les communes périurbaines ainsi que de l'espace à dominante rurale.

En lien avec ces évolutions, les lignes de clivage des mobilités se sont déplacées. Si les inégalités sociales de motorisation des ménages tendent à se réduire, celles-ci se reportent désormais vers le multi-équipement. En outre, les mobilités se différencient désormais davantage par les modes utilisés que par la fréquence des déplacements, rendant leurs lignes de clivage qualitatives plutôt

que quantitatives, en opposant des mobilités périurbaines et rurales, pour lesquelles la voiture est hégémonique, et des mobilités urbaines plus multimodales, constituées pour moitié de déplacements par les modes actifs et les transports en commun. Globalement, les mobilités apparaissent désormais très dépendantes des contraintes de la vie quotidienne, qu'elles soient professionnelles, familiales ou liées aux formes urbaines et à la densité.

Cependant, depuis le tournant du millénaire, il s'est produit une inflexion historique des comportements de mobilité. En effet, pour la première fois depuis la seconde guerre mondiale, l'usage de la voiture recule. Ainsi, les enquêtes mobilité de type « standard CERTU » mettent en évidence, au moins depuis le milieu de la décennie 2000, un recul de la fréquence moyenne des déplacements quotidiens effectués en voiture, qui s'accompagne d'un renouveau de l'ensemble des modes alternatifs à la voiture, depuis le vélo jusqu'aux deux-roues motorisés en passant par les transports en commun. Le tramway, notamment, revient en force dans les grandes agglomérations, où il est vu par les pouvoirs publics comme une réponse aux enjeux de dépendance énergétique mais également du changement climatique et comme un moyen de requalifier l'espace urbain. Il connaît ainsi une forte augmentation de sa fréquentation tout au long de la décennie, de même que plus généralement l'ensemble des transports collectifs urbains. Les modes dits « actifs » - marche et vélo - connaissent également un regain d'intérêt de la part des citoyens. Le vélo, en particulier, n'est plus seulement utilisé pour les loisirs mais intéresse à nouveau pour les déplacements vers le lieu de travail, le déploiement des systèmes de vélo en libre-service n'étant sans doute pas étranger à cette évolution. En outre, le niveau d'équipement des ménages en vélos a fortement augmenté, ce qui ne se traduit pas pour autant encore par une évolution massive des pratiques. L'exemple de la ville de Strasbourg montre toutefois que le potentiel du vélo est important, d'autant que la majorité des déplacements aujourd'hui réalisés en voiture sont des déplacements de portée intermédiaire, pour lesquels le vélo constitue un mode pertinent. Les résultats des enquêtes montrent d'ailleurs que ce moyen de transport bénéficie d'une image de plus en plus favorable au sein de la population. Les entraves au développement de l'usage du vélo semblent surtout résider dans la mise en place d'aménagements qui permettent d'en faciliter et d'en sécuriser la pratique, tant au niveau des itinéraires que du stationnement. Enfin, bien que leur pratique demeure essentiellement masculine, les deux-roues motorisés connaissent un nouvel essor, qui semble pouvoir s'expliquer notamment par les facilités de circulation et de stationnement offertes par ce mode, qui s'accompagnent toutefois d'une forte insécurité routière. En parallèle au renouveau de l'ensemble des moyens de transport alternatifs à la voiture, des alternatives à la disposition d'un véhicule personnel, désignées sous le terme de « nouveaux services à la mobilité », tendent également à se développer, en particulier le covoiturage ainsi que l'auto-partage, mais également le transport à la demande, dont la pratique demeure encore relativement marginale mais en augmentation.

Cependant, en dépit d'un recours accru à l'ensemble des alternatives à l'utilisation d'un véhicule personnel dans toute leur diversité, la mobilité totale recule, suggérant qu'une partie des déplacements actuellement réalisés en voiture ne sont pas nécessairement substituables par les autres moyens de transport. En outre, les déplacements vers le travail restent fortement dépendants de l'automobile, compte tenu notamment de distances et de temps de transport plus élevés que pour les autres motifs de déplacements et qui continuent d'augmenter. Or, ces

derniers sont structurants pour l'ensemble de la mobilité quotidienne, un grand nombre des déplacements pour les autres motifs étant réalisés, soit à partir du lieu résidence, soit à partir du lieu de travail.

Cependant, les signes d'une inflexion notoire des comportements de mobilité ne sont pas seulement venus des résultats des Enquêtes Ménages Déplacements, mais également des statistiques nationales de trafic automobile, établies au travers des bilans de la circulation, dans le cadre des Comptes Transport de la Nation. La circulation automobile tend ainsi à plafonner en France depuis 2003, mettant un terme à des décennies de croissance ininterrompue du trafic routier à l'échelle nationale. En outre, l'utilisation de chaque véhicule décline. Par ailleurs, en utilisant le panel *ParcAuto*, qui permet un suivi en continu de l'évolution de l'usage moyen de la voiture, on montre que celui-ci plafonne désormais pour l'ensemble des zones de résidence, bien que le seuil et le moment à partir duquel il tend à se stabiliser soit variable selon le type de zone de résidence. Ainsi, le niveau de stabilisation de l'usage moyen de la voiture par adulte est plus élevé dans les zones d'urbanisation diffuse, et de plus ne survient qu'à partir de 2008, alors qu'il commence dès le début de la décennie dans les agglomérations.

Ces évolutions ont d'abord suscité le doute, dans la mesure où elles s'inscrivaient à l'encontre de la progression continue de l'usage de l'automobile que l'on constatait depuis des décennies, et que l'on croyait devoir se poursuivre indéfiniment. Cependant, on dispose désormais d'assez de recul sur cette tendance pour en établir la validité, d'autant que cette évolution n'est pas spécifique à la France, mais s'observe dans l'ensemble des pays de la zone OCDE. La stabilisation de l'usage moyen de la voiture survient dès le début de la décennie, alors même que la croissance économique s'est poursuivie jusqu'en 2008, avant que les économies des nations anciennement industrialisées n'entrent dans une période de récession, consécutive à la crise financière dite des « *subprimes* ». Ce phénomène, fréquemment qualifié de « découplage » ou de dé-corrélation entre l'évolution du trafic automobile et la croissance économique, tend à remettre en cause certaines relations que l'on croyait bien établies pour la prévision de la demande de transport, en particulier celle d'une élasticité du trafic à l'évolution du revenu national. Enfin, des signes de tendances à la démotorisation commencent à apparaître depuis peu. En France par exemple, la progression des niveaux d'équipement a nettement ralenti depuis 2006, bien qu'on ignore encore si ce ralentissement reflète une tendance à la saturation, ou plutôt un effet temporaire de la crise économique. Dans les zones les plus denses comme en Ile-de-France, les niveaux de motorisation ont même tendance à baisser, une évolution que l'on constate également dans la métropole du Grand Londres.

Face à un tel retournement de tendance, plusieurs questions fondamentales ont émergé. En particulier, on ignore quelles en sont les causes fondamentales, s'il s'agit d'une évolution temporaire ou pérenne, et quels seront désormais les scénarios les plus probables d'évolution future de l'usage de la voiture. De ce point de vue, trois grandes options peuvent être envisagées : celle d'un palier temporaire dans la croissance du trafic, suscité par les circonstances économiques, et qui serait suivi d'un retour à la croissance en cas de reprise économique et de baisse des prix des carburants ; l'atteinte d'un seuil de saturation, l'essentiel des besoins de mobilité étant désormais satisfaits ; et celle d'un pic, annonciateur d'un déclin à venir de l'usage

de la voiture, tout comme pour les ressources en pétrole. Cette hypothèse est plus connue sous le nom de « *peak car (travel)* », par analogie avec le « *peak oil* ».

Dans le chapitre II, on a cherché à identifier les causes du plafonnement de l'usage de la voiture, en s'appuyant dans un premier temps sur une revue de la littérature. Celle-ci a permis de dégager sept grandes familles d'explications, que l'on a cherché par la suite à hiérarchiser en fonction de leur crédibilité. Les premières sont de nature économique : elles incluent notamment la forte augmentation des prix des carburants que l'on constate depuis le milieu des années 1990, et qui s'est accélérée depuis le début de la décennie 2000 en étant accompagnée d'une forte volatilité. La hausse des prix pourrait avoir incité les ménages à rationaliser l'usage de la voiture, une tendance qui aurait été renforcée par la récession ayant suivi la crise des « *subprimes* » à partir de 2008 aux Etats-Unis, et plutôt 2009 en France. Simultanément, d'autres postes budgétaires ont connu de fortes augmentations, notamment les dépenses de logement qui ont suivi, pour une partie des ménages ayant encore des emprunts en cours, l'évolution des prix de l'immobilier.

Une autre explication fondamentale se rapporte à la volonté des ménages de préserver leur budget-temps quotidien de déplacements. L'allongement des distances et des temps des déplacements vers le travail pourrait en particulier avoir incité les actifs à en réduire le nombre, notamment en supprimant les retours au domicile pendant la pause méridienne. L'une des principales raisons de l'augmentation des temps de déplacements est l'éloignement croissant entre le domicile et le lieu de travail, qui n'est plus compensé par l'augmentation des vitesses. En effet, la performance relative de la voiture par rapport aux autres moyens de transport pourrait avoir eu tendance à se dégrader, en raison de la congestion croissante mais également de diverses mesures de politiques publiques qui tendent à induire une baisse des vitesses réelles : abaissement des limitations de vitesses, restriction du stationnement en ville, partage de la voirie devenu plus favorable aux autres modes tels que le bus et le vélo. En parallèle, des améliorations importantes ont été apportées aux autres moyens de transport en milieu urbain dense.

Cependant, le plafonnement de l'usage de la voiture pourrait également s'expliquer par une saturation de la demande de transport, compte tenu de limites à la fois à la diffusion de l'automobile et à son usage. En particulier, dans le cadre du processus de diffusion d'un bien durable, les besoins sont limités par nature, et la saturation survient dès lors que chaque agent économique est équipé, compte tenu du fait que l'utilité des biens d'équipement pour un agent économique n'augmente pas en proportion du nombre possédé. En outre, leur utilisation est également caractérisée par des bénéfices marginaux décroissants au-delà d'un certain seuil d'utilisation.

Des effets de structure peuvent également contribuer à un ralentissement dans la croissance de l'usage de la voiture, en particulier le vieillissement de la population et les tendances partielles à la redensification urbaine que l'on observe depuis environ deux décennies. Au Royaume-Uni par exemple ainsi qu'aux Etats-Unis, plusieurs auteurs soulignent l'importance de ce facteur, qui résulte à la fois de tendances lourdes telles que la diminution de la taille des ménages, et de la volonté des pouvoirs publics de privilégier la reconquête des zones urbanisées existantes sur leur extension et une urbanisation diffuse non-contrôlée.

Les préférences, les opinions et les attitudes pourraient également avoir changé : les enquêtes indiquent ainsi que les modes alternatifs à la voiture bénéficient d'une image de plus en plus favorable, tandis qu'à l'inverse, celle de la voiture se détériore. Enfin, selon certains auteurs, les technologies de la communication, en particulier le déploiement de l'Internet et des réseaux sociaux en lien avec les terminaux mobiles - ordinateurs portables, *smartphones*, tablettes tactiles - contribueraient à réduire le besoin d'interaction physique directe, en y substituant l'usage des technologies.

De nombreux auteurs soulignent enfin la contribution particulière des « jeunes adultes » au déclin de l'auto-mobilité. Les analyses diffèrent cependant sur les causes du recul de l'auto-mobilité chez les jeunes adultes, dont l'ampleur est variable d'un pays à l'autre, ainsi que sur son interprétation. Pour certains, il s'agirait véritablement d'un effet de génération, qui se traduirait par un recul « permanent » de l'usage de la voiture au sein de la « génération Y » née après 1980, tandis que d'autres y voient un simple décalage dans le temps de l'auto-mobilité dans l'ensemble de ses composantes – accès au permis de conduire, à un véhicule personnel, distance annuelle parcourue par les détenteurs d'un véhicule – qui résulterait d'un décalage plus global de l'ensemble des étapes du cycle de vie : études plus longues, décohabitation plus tardive, formation d'un couple et accès au premier emploi également plus tardifs et plus précaires. Les explications qui en sont avancées sont dans l'ensemble analogues à celles qui sont mises en avant pour la population dans son ensemble, mais certaines d'entre elles joueraient, selon certains auteurs, un rôle plus important dans le cas des jeunes adultes. Ce serait le cas notamment des technologies de la communication, qui susciteraient un engouement plus marqué dans les nouvelles générations, ainsi que les évolutions dans les styles de vie et les mentalités. Un facteur qui est spécifique aux jeunes adultes est de plus le renforcement du coût et de la difficulté des examens du permis de conduire que l'on observe dans un grand nombre de pays.

Parmi tous ces facteurs, les plus significatifs semblent être le décalage global des étapes du cycle de vie, des évolutions dans la localisation des jeunes adultes, ainsi que des difficultés financières accrues pour une partie d'entre eux, en lien avec le coût croissant de la préparation aux examens du permis de conduire. L'ensemble de ces facteurs conduisent les nouvelles générations à différer l'accès au permis de conduire ainsi qu'à un véhicule personnel. Les preuves empiriques et les éléments d'analyse dont on dispose tendent à valider cette hypothèse plutôt que celle d'un recul permanent de l'usage de la voiture dans les nouvelles générations, même si la situation diffère probablement d'un pays à l'autre, les preuves d'un recul définitif de l'usage de la voiture semblant par exemple plus importantes dans le cas du Royaume-Uni.

Toutes ces hypothèses ne sont pas également crédibles, et ne contribuent pas de la même manière au retournement de tendance que l'on observe. Afin d'en évaluer la crédibilité, on peut s'appuyer sur plusieurs critères : l'existence de preuves empiriques, qui permettent d'étayer ou de réfuter les différentes hypothèses avancées ; le degré de généralité de leurs effets présumés, étant donné que le plafonnement de l'usage de la voiture n'est pas spécifique à un groupe de population déterminé mais s'observe par exemple dans toutes les zones de résidence et quel que soit le niveau de vie des ménages ; la temporalité des événements, les effets devant succéder aux causes ; ainsi que la nature causale des explications qui sont avancées. Certaines d'entre elles, en

effet, représentent une décomposition des tendances, plutôt qu'une explication en dernier ressort. Au regard de l'ensemble de ces critères et à l'issue de la revue de la littérature, les explications les plus convaincantes sont probablement les explications de nature économique, à savoir l'évolution des prix des carburants amplifiée par les effets de la récession et le renchérissement d'autres postes de dépenses contraintes pour les ménages, ainsi qu'une explication basée sur les budgets-temps en lien avec l'allongement des distances domicile-travail et la dégradation des vitesses de déplacements en voiture. En effet, les conséquences d'une augmentation des prix des carburants et la notion de « budget-temps » sont assez bien documentées dans la littérature, et permettent bien de rendre compte du changement de tendance. Les autres hypothèses, au contraire, sont moins susceptibles de fournir une explication en dernier ressort à la baisse générale de l'usage des véhicules qui est constatée, ainsi qu'à la temporalité du retournement de tendance, qui est synchrone avec l'augmentation des prix des carburants depuis la fin des années 1990. Les autres facteurs sont également caractérisés par des évolutions progressives, qui ne permettent pas de rendre compte du caractère relativement « brutal » du changement de tendance.

La question de la saturation est délicate : en effet, si les arguments en faveur de l'idée de saturation de la demande à long terme sont assez convaincants, le fait que le plafonnement actuellement constaté de l'usage de la voiture représente l'atteinte d'un seuil de saturation est plus discutable. En effet, d'une part, la diffusion de la voiture demeure encore incomplète, et manifestement en retrait dans le quartile inférieur ainsi que chez les femmes, suggérant la subsistance possible de marges de diffusion. En outre, le processus de diffusion présente un caractère progressif, qui s'accorde mal avec le caractère soudain du changement de tendance observé. Le taux d'équipement a d'ailleurs continué de croître au-delà du début du retournement de tendance, jusqu'à une période récente. En revanche, des signes de saturation partiels sont observables, par exemple chez les ménages du quartile supérieur de revenu.

D'autres facteurs sont parfois mis en avant, en particulier le fait que l'augmentation du nombre de voitures par ménage amènerait à répartir l'usage total des véhicules sur un plus grand nombre d'entre eux. Ce raisonnement ne vaut toutefois que dans les cas où l'augmentation du nombre de voitures par ménage n'entraîne pas une augmentation du nombre de déplacements effectués en voiture, c'est-à-dire qu'il s'applique principalement aux déplacements discrétionnaires pour les motifs de loisirs ou pour les vacances, qui sont fréquemment effectués en commun et le demeurent lorsque le ménage s'équipe d'un second véhicule. Par ailleurs, l'usage des véhicules étant en moyenne plus faible chez les femmes, l'usage du second véhicule est généralement plus faible que celui du véhicule principal, de sorte que le multi-équipement tendrait à entraîner une réduction de l'usage moyen des véhicules.

Le vieillissement de la population et la ré-urbanisation sont elles-mêmes des tendances lentes et progressives. L'évolution des attitudes et des opinions semble être étayée par certaines enquêtes, mais le lien avec l'évolution des pratiques n'est pas toujours avéré, dans la mesure où celles-ci demeurent tributaires des besoins de mobilité des ménages et des alternatives dont ils disposent. Enfin, on dispose de peu d'éléments empiriques quant à l'impact des technologies de la communication sur la mobilité, et il semblerait que cette relation présente un caractère

relativement complexe, les technologies n'engendrant pas seulement des phénomènes de substitution, mais également d'induction et de modification des comportements. Une explication dominante du plafonnement de l'usage de la voiture au travers d'une notion de coût généralisé, à savoir l'évolution du coût aussi bien budgétaire que temporel de la mobilité, semble donc séduisante, non seulement parce qu'elle est cohérente par rapport aux tendances observées, mais aussi parce qu'elle entrouvre des possibilités de modélisation, sur séries temporelles ou dans le cadre d'analyses plus désagrégées.

On revient ensuite sur le processus d'adaptation des ménages aux augmentations de prix des carburants. D'après la littérature, celui-ci est étalé dans le temps, et permet de distinguer les adaptations à court terme des adaptations à long terme. Globalement, tout se passe comme si les ménages cherchaient à maîtriser l'évolution de leur coefficient budgétaire, et tendraient à rationaliser leurs pratiques de mobilité dès lors que celui-ci s'écarterait de manière par trop importante d'un certain niveau de référence défini *a priori*. Toutefois, ils ne sont pas en mesure d'amortir à court terme les effets des fortes variations de prix, qui se répercutent sur leurs coefficients budgétaires. En outre, les ménages ne réagissent pas seulement au niveau des prix, mais également à leur volatilité et au caractère plus ou moins prolongé des tendances. D'une manière générale, le processus d'adaptation des ménages comporte au moins trois aspects distincts et complémentaires : l'évaluation de l'opportunité d'une adaptation ; l'amplitude des adaptations et le temps nécessaire à leur mise en œuvre ; les moyens utilisés pour réduire la consommation de carburant, depuis des changements de destination et une réduction de la fréquence des déplacements jusqu'au report modal, à l'achat de véhicules plus économes et au changement de lieu de résidence, si nécessaire. L'ordre de priorité de mise en œuvre de ces mesures suppose que les ménages cherchent d'abord à réagir par des ajustements à la marge, qui ne remettent pas en cause de manière drastique leur mode de vie, avant d'envisager de procéder à des adaptations plus substantielles conduisant soit à des sacrifices, soit à une évolution de leur mode de vie. La stratégie la plus avantageuse à long terme, qui permettra aux ménages de maintenir leur niveau d'usage des véhicules, consiste généralement dans l'achat de véhicules plus économes, en particulier de véhicules *diesel*, qui se traduit par l'augmentation constante de la part des véhicules *diesel* dans le parc automobile des ménages. Les modalités d'adaptation des ménages dépendent sans doute également du caractère plus ou moins prolongé et sérieux des crises auxquelles ils sont amenés à faire face. Le retournement de tendance actuel semble pouvoir s'inscrire dans le cadre d'un scénario d'ajustement, en réaction à une crise soudaine et brève, représentée dans ce cas par la forte hausse de l'an 2000, qui pourrait avoir représenté une sorte de « choc psychologique ». Par la suite, le caractère prolongé de la hausse, s'accompagnant d'épisodes de pics répétés, n'a pu que conforter les ménages dans leurs choix.

La sensibilité des ménages à l'évolution des prix des carburants s'avère cependant hétérogène selon la zone de résidence et le revenu. Elle semble en général plus importante dans les zones denses, qui disposent d'alternatives à la voiture, que dans les zones peu denses, captives de l'automobile. Toutefois, cet écart est plus marqué à court terme qu'à long terme, suggérant à première vue que les politiques d'incitation fiscale basées sur le signal-prix sont efficaces pour orienter les comportements, même dans les zones captives de l'automobile. Cependant, ces

réductions de l'usage de la voiture pourraient impliquer davantage de sacrifices et de renoncements de la part des ménages dans les zones dépendantes de l'automobile.

On cherche plus globalement à identifier l'ensemble des déterminants de l'équipement automobile des ménages, ainsi que de l'usage des véhicules. Jusqu'aux années 2000, la croissance de l'usage moyen de la voiture par adulte est indexée sur celle du taux d'équipement. Cette relation, vérifiée sur aussi longue période, suggère que la principale cause de la croissance du trafic automobile réside dans l'augmentation de la proportion d'adultes qui disposent de l'accès à un véhicule personnel, plutôt que dans un accroissement de l'usage des véhicules par les adultes déjà équipés. Autrement dit, davantage d'adultes conduisent, mais les adultes ne conduisent pas davantage. L'argument général qui sous-tend cette relation est qu'une proportion croissante d'adultes se voit donnée l'accès à une mobilité autonome. Dès lors, on pourrait s'attendre à ce que la saturation du trafic automobile survienne lorsque le taux d'équipement individuel serait proche de un, ou bien auparavant, en cas de subsistance d'une hétérogénéité résiduelle dans la diffusion du véhicule individuel au sein de la population. La nature du lien entre évolution du trafic automobile et évolution du taux de motorisation recouvre plusieurs processus complémentaires : l'accompagnement de la génération de nouveaux besoins de mobilité, le report modal vers la voiture, et l'individualisation des déplacements automobiles, entraînant une baisse du nombre d'occupants par véhicule.

La poursuite éventuelle du processus de diffusion de l'automobile au-delà du seuil d'individualisation complète des déplacements ne devrait pas modifier fondamentalement les seuils de saturation auxquels on peut s'attendre, dans la mesure où le kilométrage moyen par adulte serait indexé, non sur le nombre de voitures par adulte, mais sur la proportion d'adultes ayant accès à une mobilité autonome, qui ne se trouvera pas modifiée par les véhicules surnuméraires. Ces véhicules, en effet, s'inscriraient dans une logique de spécialisation des véhicules des ménages, mais ne devraient pas générer par eux-mêmes de mobilité induite. Ces résultats montrent tout l'intérêt de prendre en compte de manière explicite le taux de motorisation à un niveau individuel dans les projections de trafic, plutôt que de représenter celui-ci directement comme une fonction de variables économiques exogènes telles que le PIB, les revenus et le prix du carburant, sans distinguer l'effet respectif de ces variables sur le taux de motorisation et sur l'utilisation des véhicules.

Cependant, depuis la décennie 2000, l'usage moyen de la voiture semble dé-corrélé de l'évolution du nombre de voitures par adulte. Ce découplage apparent semble présenter un caractère temporaire plutôt que définitif, dans la mesure où les ménages ont probablement cherché à compenser la hausse du prix du carburant en réduisant le niveau d'usage de leurs véhicules. Cependant, les parcours annuels ont plutôt tendance à se stabiliser depuis la fin de la décennie 2000, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que les ménages ont épuisé leurs marges de manœuvre et qu'on arrive à un niveau de déplacements incompressibles, ou bien qu'ils sont parvenus à un niveau de coefficient budgétaire suffisamment bas pour leur permettre d'envisager de relâcher au moins temporairement leur effort de rationalisation. Ces réflexions incitent à penser qu'en réalité il n'y a pas de découplage structurel entre l'évolution de l'usage moyen de la voiture et celle du nombre de voitures par adulte, mais seulement un effet de la dégradation du pouvoir d'achat

énergétique. En réalité, l'alignement de la croissance du trafic sur celle du parc automobile ne présente pas un caractère automatique, mais dépend de l'évolution des parcours annuels moyens des véhicules, elle-même liée aux variations du prix du carburant. En effet, l'utilisation des véhicules varie en fonction des fluctuations du pouvoir d'achat énergétique, tout en demeurant globalement stationnaire depuis le milieu des années 1970.

Un modèle peut être mis en œuvre sur séries temporelles dans lequel on suppose que le kilométrage moyen par adulte dépend seulement de l'évolution du nombre de voitures par adulte et du pouvoir d'achat énergétique. On montre alors que le plafonnement de l'usage de la voiture peut très bien s'interpréter comme une réaction différée ou progressive à l'augmentation des prix, complétée par des phénomènes de saturation dans la diffusion du véhicule personnel au sein du quartile supérieur. Selon cette analyse, la baisse de l'utilisation des véhicules observée actuellement ne serait pas de nature fondamentalement différente de celles qui ont eu lieu lors des précédents chocs pétroliers, même si elle est de plus grande ampleur. Elle constituerait en fait une réaction de caractère habituel à une hausse des prix présentant un caractère exceptionnel. Mais on pourrait également soutenir que l'an 2000 marque le commencement d'une transition dans les comportements de mobilité, déclenchée par le dépassement d'un certain seuil au niveau du consentement à payer des ménages. On peut se demander, dans ce contexte, si certaines évolutions de comportements ne sont pas susceptibles de présenter un caractère pérenne. En effet, bien que consenties sous la contrainte budgétaire, il est peu probable que les ménages retrouvent leurs comportements antérieurs à la crise, compte tenu à la fois d'une forte probabilité de maintien des prix de l'énergie à un niveau élevé, et de l'adoption de nouvelles habitudes de mobilité dans l'intervalle. De plus, la forte volatilité des prix, en créant un climat de risque budgétaire, incite les ménages à maîtriser celui-ci en planifiant leur mobilité de façon rationnelle. Les deux hypothèses sont donc également acceptables, et pas nécessairement contradictoires dans la mesure où elles s'inscrivent dans une temporalité différente.

Par conséquent, pour pouvoir projeter l'évolution du trafic automobile, il est nécessaire de modéliser celle du taux de motorisation individuel. Pour cela, il faut en connaître les déterminants. Le premier filtre de l'accès à un véhicule personnel est bien évidemment la nécessité d'être détenteur du permis de conduire. Or, celui-ci n'a cessé de se démocratiser en se diffusant notamment aux femmes. Cette diffusion, toutefois, est un processus lent qui procède principalement par remplacement des générations. Les effets de génération et de genre apparaissent donc comme les facteurs les plus importants de la probabilité d'être détenteur du permis de conduire. La tendance à l'augmentation continue de l'accès au permis de conduire au fil des générations ne semble pas devoir se poursuivre dans la fameuse « génération Y » née après 1980, pour laquelle l'âge d'obtention du permis de conduire tend de nouveau à augmenter. La suppression du service militaire obligatoire pourrait y avoir contribué, dans la mesure où elle assurait une préparation gratuite aux examens qui tendait à effacer les inégalités sociales dans l'accès au permis de conduire en fonction du milieu d'origine chez les jeunes hommes, tout en étant à l'origine d'un écart entre hommes et femmes. L'existence d'activité professionnelle, un faible niveau de revenu et d'éducation, le lieu de résidence, contribuent également à expliquer la variabilité de l'accès au permis de conduire. Enfin, le durcissement des lois en matière de sécurité routière, depuis le déploiement du permis à points combiné avec la mise en œuvre du contrôle-

sanction automatisé, a contribué à l'augmentation du nombre de retraits de permis, dont on mesure encore mal les effets en termes d'exclusion sociale et sur le développement de la conduite sans permis.

L'accès à un véhicule personnel chez les détenteurs du permis de conduire est lui-même hétérogène en fonction de nombreux facteurs. D'une manière générale, les effets de localisation jouent un rôle très important, en particulier pour la diffusion du second véhicule. Le manque de ressources financières peut également entraver l'accès à un véhicule personnel, compte tenu des coûts d'acquisition des véhicules ainsi que des coûts fixes qu'ils induisent (assurances notamment). L'existence d'une activité professionnelle, en générant des déplacements vers le lieu de travail, généralement plus longs que la moyenne, exerce également une influence sur la probabilité d'équipement. Cependant, les facteurs les plus importants sont encore les effets de génération et de genre, l'accès à un véhicule personnel étant longtemps demeuré en retrait chez les femmes. Le taux de motorisation évolue également en fonction de l'âge selon une courbe en cloche, caractérisée par une croissance jusqu'en milieu de cycle de vie, suivie d'un déclin. En effet, contrairement au permis de conduire, les décisions de motorisation sont réévaluées tout au long de la vie selon les circonstances.

La croissance du taux de motorisation peut être représentée sous la forme du processus de diffusion d'un bien durable, qui se déploie des plus riches vers les plus pauvres, des citadins vers les ruraux, des « innovateurs » vers les « conservateurs », en atteignant des couches toujours plus larges de la société. Ce processus présente par nature un caractère asymétrique, dans la mesure où il est globalement moins coûteux à long terme de conserver aussi longtemps que possible le capital que représente un bien d'équipement tout en réduisant son usage, que de s'en séparer. La disposition d'un véhicule personnel représente également une assurance en matière de mobilité, de sorte qu'une baisse temporaire de pouvoir d'achat n'induirait pas nécessairement de décisions de démotorisation. La détermination d'un seuil de saturation dans ce processus de diffusion implique d'identifier le niveau pertinent de rattachement de l'automobile en tant que bien d'équipement durable. Dans le cas de l'automobile, on peut également soutenir que le niveau pertinent de rattachement est l'individu ou bien le ménage. En effet, conçu à l'origine comme un bien du ménage, il semble néanmoins avoir évolué au fil du temps vers un statut d'équipement individuel.

Une interprétation économique du caractère encore hétérogène de la diffusion de l'automobile selon le genre pourrait consister à considérer que tandis que le véhicule principal représente désormais un bien de première nécessité pour le ménage, le véhicule du conjoint est encore considéré comme un équipement de confort, ou un bien de niveau intermédiaire, dont l'opportunité est évaluée au regard des besoins et des possibilités du ménage. Cette interprétation est recevable parce que le statut de l'automobile est encore intermédiaire entre celui d'un équipement du ménage et d'un équipement individuel. Cependant, le statut respectif de chaque véhicule en tant que bien du ménage spécifique est relatif à l'atteinte d'une certaine étape du processus global de diffusion de l'automobile, et la relative spécialisation des véhicules pourrait tendre à disparaître à mesure que la voiture tend vers une individualisation complète.

Au final, l'usage individuel moyen de la voiture peut être vu comme l'expression d'un équilibre entre des besoins, des contraintes et des préférences en constante évolution. Globalement, pendant plusieurs décennies, les besoins avaient tendance à augmenter, tandis que les contraintes sur l'accès à un véhicule personnel ainsi que sur son utilisation avaient plutôt tendance à se relâcher, ce qui entraînait l'augmentation continue de l'usage de la voiture. Le plafonnement des années 2000 peut être vu comme le reflet d'une modification de cet équilibre. En particulier, les contraintes financières sur l'usage de la voiture se sont renforcées, conduisant à fragiliser les plus vulnérables, en particulier les résidents des zones d'urbanisation diffuse et les ménages modestes, qui pourraient éprouver une difficulté croissante à assurer leurs besoins de mobilité si les tendances actuelles devaient se poursuivre. En même temps, la diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel, qui avait jusque là contribué à supprimer les empêchements à l'usage de la voiture, semble atteindre ses limites. L'accès au permis de conduire, notamment, est très proche de la saturation, et pourrait même être devenu plus difficile dans les générations nées après 1980, tandis que l'accès à un véhicule personnel semble montrer des signes de ralentissement. Paradoxalement, les facteurs économiques déjà mentionnés pourraient être à l'origine d'une accélération dans la croissance de besoins, en renforçant les mécanismes d'éviction des couches moyennes vers les périphéries urbaines, en incitant davantage de femmes à entrer sur le marché du travail, et en poussant les actifs à rechercher des emplois de plus en plus éloignés de leur domicile. Le volet « opinions » des enquêtes ménages indique également une évolution des préférences en matière de mobilité.

Afin de dissocier le processus de diffusion de l'automobile des déterminants de l'utilisation des véhicules, il est donc nécessaire de proposer un modèle qui articule ces deux niveaux des comportements. En outre, la diffusion de l'automobile est elle-même un processus complexe constitué de deux niveaux distincts, car il résulte, d'une part de l'augmentation du nombre des titulaires du permis de conduire, d'autre part de la proportion croissante d'entre eux qui disposent d'un véhicule personnel. On justifie donc la nécessité de mettre en œuvre une approche emboîtée de l'usage de la voiture et à un niveau individuel. En se situant au niveau du ménage en effet, il n'est possible de rendre compte, ni de l'hétérogénéité, ni de la croissance de l'usage moyen de la voiture, qui provient principalement de la diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel chez les femmes. Outre les effets de genre, le choix d'une modélisation de niveau individuel est également plus pratique pour réaliser des projections sur la base de scénarios alternatifs au niveau des facteurs explicatifs de la demande, qui peuvent être combinés avec les projections démographiques de l'INSEE.

Il s'avère également intéressant d'adopter une approche longitudinale, en suivant l'évolution des comportements d'individus ou de cohortes au fil du temps, ce qui permet d'obtenir simultanément des estimations de l'hétérogénéité et de la sensibilité des comportements, afin de pouvoir les comparer. En effet, on montre que ces mesures ne sont généralement pas équivalentes, certaines conditions économétriques étant requises pour cela. La première réside dans le caractère stationnaire et homogène de la relation entre les variables exogènes et la variable dépendante, qui n'est évidemment pas vérifié dans le cas du processus de diffusion d'un bien durable, par essence non-linéaire puisque les besoins sont considérés comme satisfaits dès lors qu'un agent économique est équipé. Ces conditions ne sont pas vérifiées non plus en cas de

déclin de l'utilité marginale des usages supplémentaires d'un bien ou d'un équipement. La seconde condition réside dans l'existence possible de phénomènes d'*hysteresis*, résultant d'effets asymétriques des variables exogènes sur la variable dépendante. En effet, dans ce cas, il n'existe plus un seul équilibre possible entre la distribution de la variable dépendante et celle des variables exogènes, mais une infinité d'équilibres possibles, qui dépendent des trajectoires passées des variables explicatives et non seulement de leurs valeurs actuelles. Dans ce cas, il n'est évidemment plus possible de projeter l'évolution de la demande future à partir d'une observation de l'hétérogénéité à un instant donné, qui est contingente à l'historique des modifications conjointes dans les niveaux de l'ensemble des variables. Or, cette asymétrie est également caractéristique du processus de diffusion d'un bien durable. En outre, en présence d'effets progressifs ou différés, l'hétérogénéité à un instant donné ne peut pas être interprétée comme le reflet d'un équilibre à long terme, dans la mesure où les effets de variations dans les niveaux des variables exogènes ne sont pas nécessairement épuisés. Par conséquent, elle reflète plutôt une situation intermédiaire entre la manifestation d'effets à court terme et à long terme, ce que tendent à confirmer les estimations empiriques sur la base de données transversales. Enfin, les estimations transversales et longitudinales peuvent différer en présence d'endogénéité, c'est-à-dire dès lors que les effets individuels sont corrélés avec les variables explicatives. Dans ce cas, l'hétérogénéité ne peut être entièrement assimilée à une mesure de sensibilité, car elle traduit également des phénomènes non-observés corrélés avec le facteur dont on cherche à évaluer l'influence.

Les processus économiques sous-jacents à la violation des conditions d'équivalence incluent, outre le processus de diffusion d'un bien durable et les bénéfices marginaux décroissants des usages supplémentaires des véhicules, le coût d'opportunité du temps passé et l'utilité intrinsèque du temps de déplacement, qui conduisent à un report de la demande vers des modes plus rapides ou permettant de valoriser le temps de déplacement en réalisant d'autres activités, l'arbitrage entre service autoproduit et service marchand, le processus d'épargne, d'accumulation et de conservation du capital, la temporalité des adaptations des agents économiques, et des processus d'auto-sélection en fonction de facteurs non-observés tels que des préférences individuelles.

Dans tous ces exemples, l'hétérogénéité reflète des évolutions cumulées au cours du temps qui ne sont pas homogènes, raison pour laquelle elle ne peut être assimilée à une mesure de sensibilité, et être utilisée en conséquence pour projeter la demande future. De plus, on suppose qu'on part d'une situation initiale identique, à partir de laquelle les trajectoires individuelles vont diverger. L'hétérogénéité à chaque instant peut donc s'expliquer par la sensibilité du phénomène que l'on cherche à étudier combinée avec l'historique des évolutions passées, mais ne peut elle-même être assimilée à une mesure de sensibilité. Cependant, l'hétérogénéité ne s'explique pas toujours par les processus évolutifs qui conduisent à la formation des équilibres de long terme, mais peut également s'expliquer par l'hétérogénéité des conditions initiales. Au point de vue économétrique, l'explication la plus simple et la plus fondamentale de l'absence d'équivalence entre hétérogénéité et sensibilité est peut-être que les facteurs qui déterminent la distribution des conditions initiales diffèrent de ceux qui en déterminent les évolutions au cours du temps. Cependant, cette non-équivalence ne peut pas se justifier par des raisons purement techniques, mais implique d'avoir recours à des arguments économiques et/ou psychologiques. Ce processus peut être représenté par l'exemple d'un ménage qui change de logement et choisit un nouveau

lieu de résidence. Dans ces circonstances qui l'amènent à envisager un nouveau projet de vie, les arbitrages ne s'effectuent pas de la même manière que lorsque le mode de vie est stabilisé et que les ménages subissent des évolutions qu'ils n'ont pas choisies. Dans le cas d'un ménage qui s'installe dans le périurbain, celui-ci aura tendance à accepter le coût budgétaire et temporel de la mobilité qui en résulte – sans toutefois en mesurer toujours pleinement l'ensemble des répercussions tant financières qu'en termes de fatigue induite. A l'inverse, en cas d'évolutions exogènes indépendantes de sa volonté et non-anticipées telles qu'une augmentation ultérieure des prix des carburants, celle-ci sera perçue comme un facteur de perturbation des choix originaux qui tendra à susciter une force de rappel, de nature essentiellement conservatrice, visant à préserver l'équilibre du mode de vie choisi.

L'exemple des effets d'âge et de génération permet bien d'illustrer la différence entre estimations transversales et longitudinales. Dès lors que les effets de génération ne sont pas pris en compte, en effet, l'estimation des effets d'âge est fortement biaisée, car les variables d'âge et de génération sont linéairement dépendantes dans la dimension transversale. La prise en compte des effets de génération est indispensable pour pouvoir modéliser correctement l'auto-mobilité dans ses différentes composantes, et seule l'analyse longitudinale permet de dissocier pleinement les effets d'âge et de génération. En dehors de ces derniers, l'utilisation de la voiture s'explique également par des effets de période liés à l'évolution du contexte économique global et des prix du carburant. Les effets d'âge, de génération et de période peuvent être pris en compte simultanément dans le cadre d'un modèle de type *Age-Cohorte-Période (ACP)*.

Dans le dernier chapitre, on met donc en œuvre une approche emboîtée, individuelle et longitudinale, segmentée en fonction du genre. On analyse les principaux déterminants de chaque niveau de l'auto-mobilité – détention du permis, motorisation des détenteurs du permis, usage des véhicules par les adultes motorisés – structurés autour d'une analyse de type âge-cohorte, complétée par d'autres facteurs explicatifs, notamment économiques et de localisation, l'analyse étant de plus segmentée en fonction du genre. Cette méthodologie permet une intégration à la fois horizontale (sur les individus) et verticale (par niveaux) des comportements. L'analyse est basée sur les données de l'enquête annuelle permanente de type panel sur le parc automobile à la disposition des ménages résidents en France métropolitaine et son usage, désignée sous le nom de *ParcAuto*.

Les données de panel, en permettant de disposer d'observations répétées au cours du temps pour un même ensemble d'individus, sont très intéressantes pour les économistes et représentent un saut qualitatif dans la compréhension et l'analyse des comportements micro-économiques. Elles permettent en particulier de modéliser explicitement les spécificités des comportements individuels au travers de l'introduction d'effets spécifiques individuels, et d'améliorer la précision des estimations des paramètres. Elles permettent également de distinguer entre mesures d'hétérogénéité – *via* l'estimateur *between* – et mesures de sensibilité – *via* l'estimateur *within* – ainsi qu'entre effets d'âge et de génération, et de contrôler la présence éventuelle d'endogénéité.

L'analyse des déterminants de l'auto-mobilité par niveaux et en fonction du genre permet de dégager les principaux constats qui suivent. Au final, c'est surtout le processus de diffusion de l'automobile qui contribue à la croissance de l'usage moyen de la voiture par adulte à long terme,

tandis que l'utilisation moyenne des véhicules présente un caractère stationnaire. Ce processus résulte lui-même principalement de la diffusion du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel au fil des générations chez les femmes, en retrait par rapport aux niveaux de diffusion observés chez les hommes. L'importance des effets de genre s'explique par une diffusion plus tardive, qui s'est poursuivie jusqu'aux générations de femmes nées dans les années 1970, en raison d'évolutions tant dans les mentalités, qu'au niveau des modes de vie et des conditions économiques. Au contraire, l'accès au permis de conduire et à un véhicule personnel étaient déjà quasiment stabilisés et proches de la saturation chez les hommes dans les générations nées après-guerre.

Compte tenu d'une diffusion plus tardive et moins générale, la motorisation des femmes est donc globalement plus hétérogène en fonction de nombreux facteurs, que ce soit la génération, l'âge, le revenu du ménage, la situation vis-à-vis de l'activité professionnelle, la situation familiale ou le lieu de résidence. Ce dernier facteur joue un rôle particulièrement important dans l'explication de la variabilité des niveaux de motorisation chez les femmes. Le taux de motorisation est au contraire caractérisé par une grande homogénéité chez les hommes.

L'évolution des niveaux de motorisation au fil des générations successives tend à montrer que celles-ci ont modifié leur manière de réagir à une situation initialement contrainte par rapport à leurs besoins de mobilité, en achetant un second véhicule, plutôt qu'en procédant à un arbitrage sur l'utilisation du véhicule unique, comme le faisaient les générations plus anciennes. Des comportements de gestion de la pénurie ont ainsi été remplacés par l'adaptation du niveau d'équipement aux besoins du ménage, un choix qui a sans doute également été favorisé par la progression du pouvoir d'achat des ménages, compte tenu de l'apport d'un second revenu dans le ménage avec l'augmentation du taux d'activité des femmes. L'essentiel de cette transition semble avoir eu lieu entre les générations nées pendant la guerre et celles qui sont nées pendant les années 70, vers la « *ville émergente* » fondée sur l'automobile, tandis que les divergences de comportements apparaissent finalement assez limitées entre les générations de femmes nées avant la guerre, de même qu'entre les générations nées après 1970. Ce sont donc les générations du *baby-boom* qui sont à l'origine de cette transition des modes de vie.

A l'exception notable des effets d'âge, l'utilisation moyenne des véhicules est dans l'ensemble beaucoup plus homogène que ne le sont les niveaux d'équipement. Aussi bien les effets de genre que de génération, de localisation, de l'activité professionnelle, sont nettement plus limités sur l'usage des véhicules que sur le taux d'équipement. Toutefois, l'utilisation des véhicules est un peu plus faible chez les femmes que chez les hommes, une différence qui s'explique par le double usage du véhicule principal qui est utilisé pour certains déplacements du ménage en plus des déplacements de son utilisateur principal, ainsi que par les arbitrages internes au ménage dans les choix du lieu de résidence et des lieux d'emploi des conjoints, qui conduisent généralement à un moindre éloignement entre le domicile et le lieu de travail chez les femmes, compte tenu de la nécessité pour les femmes de concilier vie professionnelle et responsabilités parentales. L'influence des contraintes financières sur les niveaux d'utilisation des véhicules est en outre plus importante chez les hommes que chez les femmes, ce qui peut s'expliquer là encore par la

fonction collective du véhicule principal dont l'usage comporte une proportion plus importante de déplacements discrétionnaires, par nature plus sensibles aux contraintes financières.

L'auto-mobilité semble reculer dans les générations nées après 1975, de façon toutefois plus marquée chez les hommes que chez les femmes. Cet effet de génération n'est pas homogène sur l'ensemble du cycle de vie, mais résulterait plutôt d'un décalage dans les étapes du cycle de vie, se traduisant à la fois par un accès plus tardif au permis de conduire et par un usage des véhicules réduit en début de cycle de vie lorsque les jeunes adultes disposent d'un véhicule personnel.

L'hétérogénéité des comportements selon le genre justifie *a posteriori* le choix de segmenter l'analyse, et de la conduire à un niveau individuel plutôt qu'au niveau du ménage. Des taux d'équipements plus faibles et plus hétérogènes chez les femmes peuvent être interprétés, si on situe l'analyse au niveau du ménage, comme des inégalités sociales entre ménages ayant les moyens d'acquérir un second véhicule et ceux qui n'en ont pas encore les moyens, dans un contexte où le second véhicule demeure encore un bien de statut intermédiaire, dont l'utilité est évaluée au regard des besoins et des contraintes spécifiques du ménage. A l'inverse, si on situe l'analyse au niveau individuel, ils seront interprétés comme la manifestation d'importantes inégalités entre hommes et femmes. La réalité est sans doute intermédiaire, dans la mesure où la fonction du véhicule principal du ménage est partiellement individuelle, et partiellement collective, reflétant la nature encore intermédiaire de l'automobile entre un équipement du ménage et un équipement individuel.

La modélisation du processus de diffusion d'un bien d'équipement durable permet de rendre compte du déclin tendanciel des élasticités souvent relevé dans la littérature dans le cadre de l'estimation de modèles de motorisation et de trafic, ainsi que de l'homogénéisation croissante des niveaux de mobilité observée par exemple dans les enquêtes transport. En effet, au fil du temps, la distribution des états de motorisation au sein de la population devient tout à la fois plus homogène et moins sensible aux variations des facteurs, à mesure qu'on s'approche de niveaux de saturation. La diminution tendancielle des élasticités peut être représentée formellement dans le cadre d'un modèle de choix discret. Pour que ce déclin se répercute sur la sensibilité de l'usage moyen de la voiture par adulte aux variations de revenu et de prix du carburant, il est nécessaire que l'utilisation moyenne des véhicules soit caractérisée par une distribution stationnaire des niveaux d'usage au sein de la population, ce qui semble être le cas.

Il est intéressant de remarquer que, quel que soit le niveau de l'auto-mobilité et le genre, la présence ou l'absence d'effets de génération permet finalement d'expliquer l'existence de croissance : ainsi, les taux de détenteurs du permis de conduire et d'adultes motorisés parmi les détenteurs du permis de conduire, caractérisés par des effets de génération importants, connaissent une forte croissance, alors qu'à l'inverse, l'utilisation des véhicules, dont les effets de génération sont absents, est stationnaire. De même, la croissance de l'auto-mobilité est observée chez les femmes, pour lesquelles les effets de génération sont importants, mais pas chez les hommes, pour lesquels les effets de génération sont faibles. Les effets de génération peuvent donc véritablement être considérés comme la pierre angulaire de l'analyse, du moins pour le processus de diffusion de l'automobile. Au contraire, les facteurs économiques jouent le rôle le plus important dans le cas de l'usage des véhicules, tandis que les effets de génération sont

négligeables. L'hétérogénéité des déterminants de l'auto-mobilité par niveaux justifie *a posteriori* le choix d'une modélisation emboîtée, avec des processus déterminant chaque niveau de décision irréductibles entre eux.

Dans la dernière partie de l'analyse, on a mis en œuvre une modélisation économétrique emboîtée sur données de panel, constituée de deux modèles de choix discret, respectivement pour la probabilité d'avoir le permis de conduire, et la probabilité d'être motorisé des détenteurs du permis de conduire, et d'un modèle linéaire, pour l'usage des véhicules chez les adultes motorisés. On a supposé dans un premier temps que ce modèle était séquentiel, c'est-à-dire que ces décisions sont prises successivement et non pas conjointement. On n'a conservé pour l'inférence statistique que les individus présents pendant une durée d'au moins cinq années dans le panel, de manière à disposer d'une profondeur d'observation suffisante en vue d'étudier l'influence de certains facteurs dans la dimension longitudinale, notamment les prix des carburants (ou le coût d'usage des véhicules).

On a choisi une spécification basée sur des modèles à erreurs composées plutôt qu'à effets fixes, en raison des divers avantages offerts par ce type de modèles dans le contexte de cette analyse, en particulier le fait qu'ils permettent : une estimation plus précise des paramètres ; une comparaison entre estimations transversales et longitudinales dans le cas linéaire ; la production d'estimations des paramètres associés à l'ensemble des variables explicatives, y compris les variables permanentes de génération et de genre qui, ainsi que nous venons de le voir, jouent un rôle fondamental dans l'analyse ; l'estimation d'effets marginaux et d'élasticités ; la prévision, dans la mesure où ils pourront être combinés par la suite avec les projections démographiques de l'INSEE ; l'articulation entre un modèle de motorisation et d'usage des véhicules dans le cadre d'une spécification de type *Tobit II*, qui permettra de tester *a posteriori* l'hypothèse d'indépendance entre les états de motorisation et les niveaux d'usage des véhicules. Pour l'ensemble de ces raisons, les avantages pratiques des modèles à erreurs composées surpassent largement leurs inconvénients, le principal d'entre eux résidant dans les hypothèses restrictives qu'ils impliquent sur la distribution des effets individuels, qui sont susceptibles de conduire à des estimations biaisées des paramètres, dans les cas où ces hypothèses ne seraient pas vérifiées. Toutefois, cet inconvénient lui-même n'est pas à exagérer, dans la mesure où ces hypothèses peuvent être relâchées, ce qui rend ces spécifications très flexibles.

Les effets marginaux et les élasticités associés à chaque variable peuvent ensuite facilement être calculés à partir des paramètres du modèle. Dans l'ensemble, l'estimation du modèle confirme l'importance des différents facteurs identifiés dans la section consacrée à l'analyse des déterminants de l'auto-mobilité. Les résultats spécifiques de la partie économétrique portent sur l'estimation d'élasticités au revenu, au prix des carburants – ou au coût d'usage des véhicules, qui dépend également de leur efficacité énergétique – ainsi qu'à la log-densité, de manière à évaluer l'influence des effets de localisation.

Chez les hommes, l'élasticité au revenu de l'usage des véhicules est plus importante que celle de la probabilité de motorisation, alors que c'est l'inverse chez les femmes, en raison d'une diffusion encore incomplète du second véhicule. Par ailleurs, les élasticités au revenu et au prix du carburant de l'usage des véhicules sont plus importantes chez les hommes que chez les femmes,

ce qui conforte les analyses précédentes sur les effets de la spécialisation des véhicules. L'utilisation des véhicules varie par contre très peu en fonction de la densité, qui exerce surtout une influence sur la probabilité de motorisation, qui est particulièrement forte chez les femmes. Les élasticités de la probabilité de motorisation par rapport au revenu et à la log-densité sont nettement plus élevées chez les femmes que chez les hommes. Globalement, les niveaux de motorisation apparaissent plus variables en fonction de ces différents facteurs que ne l'est l'usage des véhicules, et la motorisation est plus hétérogène chez les femmes, alors que c'est l'inverse pour l'usage des véhicules.

En effectuant la moyenne des élasticités, hommes et femmes confondus, on trouve que l'élasticité de l'usage des véhicules au prix du carburant s'inscrit plutôt dans la fourchette haute de la littérature pour les estimations obtenues dans le cadre de modèles statiques, tout en correspondant à une valeur de moyen terme. L'élasticité au revenu de l'usage moyen de la voiture est bien en phase avec la littérature, de même que l'élasticité de l'usage des véhicules, qui est cohérente avec les modèles dans lesquels on contrôle le niveau de motorisation. La valeur que nous obtenons pour l'élasticité au revenu de la probabilité de motorisation est en phase avec les résultats obtenus dans le cadre de modèles statiques, ou avec les valeurs de court terme dans le cadre de modèles dynamiques. Enfin, nous n'avons pas estimé d'élasticité-prix du taux d'équipement. Selon la littérature, celle-ci est très faible. Cependant, à court et à moyen terme, le rythme de croissance du taux d'équipement pourrait être influencé par l'évolution du prix du carburant, comme le suggère l'accélération de la transition vers les véhicules *diesel* et de la croissance globale du taux d'équipement dans les années 2000.

Enfin, l'hypothèse d'un processus séquentiel tend à être validée *a posteriori*, justifiant un modèle dans lequel les états de motorisation sont, toutes choses égales par ailleurs, indépendants des niveaux d'usage des véhicules. Ce résultat est susceptible de s'expliquer par le fait que la disposition d'un véhicule personnel constitue un capital de mobilité permanente, même lorsque les individus n'en ont qu'un usage occasionnel. Ainsi, à mesure que le permis de conduire et l'accès à un véhicule personnel s'homogénéisent dans la population, ils sont susceptibles de recouvrir des usages de plus en plus hétérogènes entre les « gros » et les « petits » utilisateurs.

Pour conclure, on passe en revue l'ensemble des questions qui demeurent irrésolues à ce stade, et qui nécessiteraient donc des investigations plus poussées dans le prolongement de cette recherche. Une première série de questions porte sur les améliorations à apporter au modèle. On traite ensuite des répercussions des nouvelles tendances sur la prévision de la demande de transport et sur les modèles qui sont aujourd'hui utilisés. On passe notamment en revue l'ensemble des facteurs d'incertitude susceptibles d'affecter les prévisions pour les différents niveaux de l'auto-mobilité. Enfin, on évoque les implications du plafonnement de l'usage de la voiture pour les politiques publiques.

Parmi les améliorations à apporter au modèle, on distingue celles qui portent sur le modèle de motorisation de celles qui portent sur le modèle d'usage des véhicules. En ce qui concerne tout d'abord le modèle de motorisation, il serait nécessaire de pouvoir évaluer des mesures de sensibilité et non seulement d'hétérogénéité, c'est-à-dire de pouvoir travailler dans la dimension longitudinale. La mise en œuvre de modèles de type *logit* conditionnel, par exemple, permet de

produire des estimateurs basés uniquement sur la variabilité dans la dimension longitudinale. Des approches de type « pseudo-panel » pourraient également être mises en oeuvre à partir d'un modèle linéaire, qui est toutefois peu satisfaisant pour décrire le processus de diffusion d'une aménité, par nature non-linéaire en particulier dans sa phase de convergence vers la saturation. Une autre amélioration possible consiste à prendre explicitement en compte l'asymétrie dans le processus de diffusion. En particulier, dans le cas où on travaille dans la dimension longitudinale, on pourra chercher à estimer des sensibilités asymétriques de la probabilité de motorisation aux augmentations et aux baisses de revenu.

En outre, le taux de motorisation, mais également les types de motorisation, apparaissent sensibles, au moins à court terme, aux variations de prix du carburant. En période de prix élevés, les ménages tendraient à favoriser davantage l'acquisition de véhicules *diesel*, du moins tant que l'avantage du *diesel* sur l'essence en termes de coût d'usage des véhicules se maintient. A l'inverse, cette préférence serait moins prononcée en période de prix bas, ou si l'avantage économique des motorisations *diesel* se réduit. De plus, en période de hausse des prix, les ménages seront amenés à anticiper certaines décisions d'achat projetées de manière à maîtriser le risque budgétaire induit. Le modèle de motorisation pourrait donc être amélioré en intégrant un paramètre de sensibilité aux prix des carburants et en segmentant le modèle selon le type de motorisation. Cependant, c'est le coût d'usage des véhicules qui détermine l'avantage économique d'une motorisation par rapport à une autre, et non seulement le prix du carburant. Il conviendrait donc également d'y intégrer une sensibilité à l'évolution de la consommation de carburant, ou à l'inverse de l'efficacité énergétique des véhicules. Enfin, étant donné que l'avantage économique d'une motorisation par rapport à une autre ne dépend pas seulement de son coût d'usage spécifique mais également de celui des motorisations concurrentes, il conviendrait d'intégrer dans le modèle des élasticités croisées au coût d'usage des autres types de motorisation.

Parmi les améliorations à apporter au modèle d'usage des véhicules, l'une d'entre elles consisterait à intégrer une variable de vitesse des déplacements, de manière à prendre en compte les stratégies de maîtrise des budgets-temps, qui pourraient constituer l'un des facteurs principaux de réduction de l'usage des véhicules. En effet, dans un contexte de dégradation des vitesses, les individus seraient amenés à réduire la distance qu'ils parcourent quotidiennement de manière à maîtriser leur budget-temps quotidien de transport, tandis qu'à l'inverse, toute augmentation des vitesses serait « réinvestie » dans une augmentation de la distance quotidienne parcourue. La difficulté réside toutefois dans la capacité à intégrer une variable de vitesse qui reflète suffisamment les contraintes réelles de l'automobiliste. Cette analyse est réalisable en théorie au moins pour les déplacements vers le lieu de travail ou d'études, puisque *ParcAuto* contient des questions sur la distance et la durée des déplacements pour ce motif, à partir desquelles il est possible de calculer une vitesse de déplacement. On dispose également d'une variable sur la présence de stationnement au lieu de travail ou d'études, qui peut constituer un facteur important de recours à la voiture. En tenant compte de la sensibilité de l'usage des véhicules à leur coût budgétaire et temporel, il serait possible d'en déduire une valeur du temps, ainsi qu'une évaluation du coût généralisé de l'usage des véhicules.

Parmi les autres facteurs potentiellement importants de l'usage des véhicules qui ne sont pas encore pris en compte à ce stade, figurent les coefficients budgétaires associés aux autres postes de dépenses contraintes du ménage. Ainsi par exemple, l'augmentation des prix immobiliers est susceptible d'avoir des effets croisés sur les dépenses de transport, dans le cadre d'arbitrages effectués par les ménages. Ces effets sont probablement ambivalents selon que les ménages sont propriétaires de leur logement et ont fini de rembourser leurs emprunts, ou selon qu'ils ont souscrit des emprunts en période de prix élevés. Dans le premier cas, l'augmentation des prix est susceptible de générer un effet de richesse et de stimuler la consommation, tandis que dans le second cas, la charge du remboursement des emprunts pourrait amener les ménages à des sacrifices sur d'autres postes de dépenses. Une analyse de sensibilité de l'usage des véhicules par rapport à certains postes budgétaires, en particulier les dépenses de logement, pourrait théoriquement être réalisée à partir de *ParcAuto*, puisqu'on dispose d'une variable sur les dépenses de logement ou les mensualités de remboursement d'emprunt. Enfin, une dernière variable dont il serait utile de tester l'influence sur le niveau d'usage des véhicules est le nombre de voitures du ménage. La présence d'une seconde voiture dans le ménage, en particulier, est susceptible de modifier le niveau d'usage du véhicule principal, en contribuant à répartir les déplacements collectifs du ménage sur un plus grand nombre de véhicules et à réduire leur spécialisation.

On en vient maintenant à l'analyse des implications du retournement de tendance constaté sur les prévisions de la demande de transport. Certains auteurs pointent le décalage grandissant entre la réalité d'une stagnation de l'usage de la voiture qui est observée depuis maintenant plus d'une décennie, voire davantage dans le cas du Royaume-Uni, et les prévisions gouvernementales qui continuent d'anticiper une forte croissance du trafic, en ligne avec la croissance économique. Plusieurs auteurs soulignent donc la nécessité de réévaluer les modèles de prévision de la demande actuellement utilisés, ainsi que les projections qui en découlent, à la lumière de ce retournement de tendance, observant en particulier que certaines relations sur lesquelles ils s'appuient, telles que l'indexation du trafic sur la croissance économique, sont remises en cause. Dans le cadre de cette thèse, nous avons proposé une explication à ce découplage apparent : il n'y aurait pas à proprement parler de découplage entre le trafic et la croissance économique, mais seulement un affaiblissement tendanciel de cette relation au cours du temps, qui provient de la convergence progressive vers la saturation du processus de diffusion de l'automobile. Les facteurs économiques, néanmoins, devraient toujours conserver une influence au moins sur l'usage des véhicules, et le niveau de saturation dans la diffusion de la voiture en tant que bien d'équipement serait lui-même contingent à une certaine distribution des revenus au sein de la population. Le problème réside également dans une évaluation correcte de l'effet du prix du carburant, qui est susceptible de différer grandement selon les méthodes d'estimation utilisées. En dépit d'une littérature abondante, la connaissance de la manière dont les ménages réagissent réellement aux variations de prix des carburants est donc encore loin d'être complète. Différents auteurs soulignent que dans un contexte de remise en cause des modèles existants, mais également d'incertitude grandissante des scénarios sur lesquels s'appuient les projections, un renforcement de la prospective serait nécessaire en complément de la prévision, permettant notamment

d'évaluer la robustesse des politiques publiques à l'incertitude en fonction d'une large palette de scénarios possibles.

La relation généralement admise entre le trafic automobile et la croissance économique devrait faire l'objet d'un examen plus attentif, compte tenu du déclin de l'intensité transport du PIB dans les économies avancées, qui sont de plus en plus basées sur les services et de moins en moins sur l'échange de biens matériels, comme on peut le constater dans les grandes métropoles telles que Londres, qui affichent le paradoxe d'un fort dynamisme économique associé à un déclin du trafic automobile et de la motorisation. Une attention plus importante devrait également être apportée aux phénomènes de saturation, dont différentes interprétations économiques ont été fournies dans le cadre de cette thèse.

Une question essentielle porte sur le caractère transitoire ou pérenne du retournement de tendance actuellement constaté. En effet, les comportements ayant évolué sous la pression de facteurs économiques exogènes, on pourrait penser qu'ils sont réversibles en cas de retour à des conditions économiques plus favorables, soit en raison d'une baisse des prix des carburants, soit du fait d'une reprise de la croissance économique. Cependant, la réponse à cette question dépend vraisemblablement du caractère plus ou moins critique des adaptations consenties. Dans le cas d'ajustements mineurs de l'usage des véhicules, correspondant à une réaction au fil de l'eau aux variations de prix, il est vraisemblable que les changements observés dans les comportements présentent un caractère réversible, et que l'usage des véhicules retrouve son niveau d'origine en cas de retour à des conditions économiques plus favorables. Si par contre, les comportements se sont adaptés de manière plus importante, par exemple à travers des changements de mode, des décisions de dé-motorisation, voire des évolutions dans les lieux de résidence, un retour aux conditions initiales ne devrait pas entraîner nécessairement une reprise importante de l'usage des véhicules. En effet, compte tenu du coût des adaptations consenties, les ménages auront dans l'intervalle contracté de nouvelles habitudes, et ne seront pas prêts à revenir à leurs comportements antérieurs. Observons que d'un point de vue psychologique, le maintien des décisions de changement permet en outre dans ce cas de justifier *a posteriori* leur opportunité. Ces décisions se justifient également dans une perspective de long terme, dans la mesure où l'augmentation de la volatilité des prix des carburants depuis le début du millénaire crée un climat d'insécurité économique dont résulte pour les ménages un risque budgétaire permanent, qu'ils peuvent chercher à vouloir maîtriser à travers l'adoption d'un mode de vie robuste à l'incertitude, qui leur permettra dans tous les cas de limiter l'augmentation de leurs dépenses en rationalisant l'usage des véhicules.

La question du caractère pérenne ou réversible des changements de comportements ne se pose pas de façon homogène sur l'ensemble du territoire. Face à une situation de crise économique ou énergétique, les ménages les plus pauvres ou résidant au sein des espaces de faible densité, apparaissent comme étant à la fois les plus vulnérables et les moins résilients. Cette situation concerne aussi les couches moyennes salariées qui, pour une large partie d'entre elles, résident au sein des zones périurbaines. A l'inverse, les ménages résidant au sein des zones urbaines denses, peuvent se reporter vers l'offre de transport alternative en cas de tensions sur les prix de l'énergie. Quant aux ménages les plus aisés financièrement, ils disposent de davantage de marges

de manœuvre pour réduire leur mobilité, qui est plus élevée et constituée d'une part plus importante de déplacements discrétionnaires.

La question de la réversibilité des comportements doit être dans une certaine mesure dissociée de celle de leur durabilité. En effet, bien que les évolutions dans les comportements de mobilité puissent être réversibles au moins en théorie, elles sont néanmoins susceptibles d'être durables, compte tenu de conditions économiques qui ont peu de chances de s'améliorer à l'avenir. En particulier, la plupart des tendances de fond alimentent la perspective d'une augmentation continue du prix du carburant : demande des pays émergents, perspective de plus en plus rapprochée du « *peak oil* », instabilité politique et religieuse des régions productrices de pétrole, augmentation des volumes échangés sur les marchés de matières premières sous la forme d'actifs tangibles ou titrisés, hausse continue de la fiscalité des carburants qui représente l'une des principales sources de financement de l'Etat et des collectivités locales, objectifs de décarbonisation de l'économie, etc. Cette évolution se conjugue avec une dépression économique sévère consécutive à la crise financière de 2008, qui devrait amener une grande partie des ménages à rationaliser l'usage de la voiture. La volatilité des prix ne devrait pas conduire à remettre en cause ces tendances qui semblent surtout liées à l'évolution des prix à long terme, l'évolution des comportements apparaissant comme un moyen de maîtriser le risque budgétaire induit par la volatilité.

Cependant, un grand nombre de facteurs sont susceptibles de générer de l'incertitude dans les prévisions en affectant l'évolution future de la demande. On a présenté, à la fin de la section III.2, une description en quatre étapes du processus de diffusion de l'automobile, convergeant vers une individualisation complète de l'équipement automobile. Selon ce schéma, la quatrième et dernière étape représenterait le stade de diffusion ultime de l'automobile, qui serait suivi d'une saturation de la demande, puis éventuellement d'un déclin. Qu'en est-il réellement, et peut-on anticiper ce qui pourrait se passer au-delà de cette étape ? On propose ici l'alternative suivante :

- La saturation du marché : au-delà de la quatrième étape, le taux de motorisation des adultes stagne, voire décline. Le processus s'inverse, mettant progressivement fin à la civilisation de l'automobile. C'est l'hypothèse du déclin, ou du « *peak car* », avancée par Goodwin (2010-11) ;
- Entrée dans une nouvelle étape de développement du marché de l'automobile, sous l'impulsion d'une combinaison de facteurs qui contribueraient à relancer le marché des véhicules neufs. En premier lieu, la possibilité d'un saut technologique avec la substitution d'énergies « propres » et peu coûteuses aux énergies fossiles, réduisant la dépendance au pétrole ainsi que les émissions de gaz à effet de serre, notamment grâce aux nouvelles motorisations de type hybride ou électrique. Compte tenu de la baisse du prix final de l'énergie pour l'utilisateur, les contraintes sur l'utilisation des véhicules s'en trouveraient relâchées. La baisse des prix des véhicules, favorisée par la délocalisation de la production ou des techniques moins coûteuses en capital, aboutissant à la généralisation des véhicules « *low-cost* », contribuerait également à cette relance. Dans ce cas, l'épargne des ménages pourrait être utilisée pour dépasser le seuil critique d'individualisation complète de la voiture. Dans ce contexte, les véhicules surnuméraires correspondraient à une logique de spécialisation fonctionnelle de l'usage des véhicules, par exemple pour les déplacements à longue distance.

Toutefois, cette cinquième phase de croissance du marché de l'automobile serait qualitativement très différente de celles qui l'ont précédé. En effet, selon notre hypothèse, la croissance de la motorisation au-delà du seuil d'un véhicule par adulte n'entraînerait plus de croissance du trafic par adulte, la mobilité étant déjà entièrement individualisée et la voiture ne générant pas par elle-même de besoins de mobilité, mais accompagnant seulement l'évolution des besoins. Dès lors, on peut supposer que les effets de l'augmentation du nombre de voitures par adulte sur la croissance du trafic seront épuisés dès lors que tous les individus adultes auront accès à une mobilité entièrement autonome.

Mais avant même d'atteindre cette étape, on ignore jusqu'où se poursuivra la logique d'individualisation de la voiture et de son usage. En particulier, on ignore si la diffusion de l'accès à un véhicule personnel chez les femmes atteindra celle qu'on observe chez les hommes ou bien s'arrêtera à mi-chemin, ou de manière équivalente, si la proportion de ménages multi-équipés suivra la même trajectoire que celle des ménages motorisés, c'est-à-dire disposant d'au moins d'un véhicule dans le ménage. A priori, l'hypothèse d'un alignement des femmes sur les hommes est soutenable dans la mesure où les effets de génération semblent disparaître dans les générations nées après 1975, suggérant qu'il subsisterait des marges de manœuvre pour la diffusion de l'accès à un véhicule personnel chez les femmes. Cependant, des tendances contraires semblent se dessiner depuis 2006, et on ignore si la diffusion du multi-équipement va se poursuivre, faisant du second véhicule un bien de première nécessité, ou bien s'il va demeurer de manière définitive un bien de statut intermédiaire, dont l'opportunité restera évaluée au regard des besoins et des contraintes des ménages. La même question se pose pour les véhicules des enfants majeurs qui demeurent au foyer parental, soulignant à ce stade le caractère inachevé de l'individualisation des véhicules.

D'autres facteurs sont susceptibles d'exercer une influence sur l'évolution des niveaux de motorisation, en particulier l'accès au permis de conduire au sein des nouvelles générations, qui semble en retrait chez les hommes, sans doute en lien avec la suppression du service militaire obligatoire. Pour l'instant en France, les jeunes adultes tendent cependant davantage à différer l'accès au permis de conduire plutôt qu'à y renoncer. La question du comportement futur des jeunes adultes est évidemment cruciale pour l'évolution future de la demande de transport puisque les générations montantes constitueront demain la majorité de la population, de sorte que leur comportement déterminera tôt ou tard la tendance globale. En cas de maintien de comportements d'auto-mobilité différée, le niveau global d'usage de la voiture s'en trouvera réduit, mais on ne se situera pas pour autant dans une logique de déclin irrémédiable. Cependant, le rapport à l'automobile pourrait changer dans les nouvelles générations, qui semblent avoir un rapport plus rationnel à la voiture, davantage dicté par des considérations pratiques que par une charge émotionnelle et symbolique. Les jeunes adultes sont à ce jour les utilisateurs privilégiés des « nouveaux services à la mobilité » - covoiturage, auto-partage - traduisant une évolution dans la conception de la voiture, qui tendrait à être de moins en moins considérée comme un bien d'équipement durable et davantage au niveau du service qu'elle procure au sein d'un « marché unique des déplacements » (*TNS-Sofres/Chronos, 2010*). Au-delà des nouvelles générations, l'accès au permis de conduire pourrait avoir tendance à reculer plus globalement au sein de la population, compte tenu des volumes annuels très importants de retraits de permis que l'on

observe depuis la fin des années 1990, résultant de la combinaison du système de permis à points avec la mise en place du contrôle-sanction automatisé.

Les niveaux de motorisation futurs dépendront bien évidemment de la croissance économique ainsi que de l'évolution et de la distribution des revenus. A l'heure actuelle, tant l'accès au permis de conduire qu'à un véhicule personnel demeurent en retrait chez les plus modestes, de sorte que des marges de manœuvre subsisteraient encore pour la diffusion d'un véhicule personnel si le taux de pauvreté devait un jour diminuer. En outre, l'importance actuellement accordée aux facteurs de localisation pour les arbitrages en matière d'achat d'un second véhicule pourrait se trouver modifiée, en cas d'évolution dans les niveaux de contraintes financières. On peut en effet supposer qu'il existe des effets d'interaction entre les besoins de mobilité et les contraintes financières, dans la mesure où l'importance des besoins de mobilité en tant que critère d'évaluation de l'opportunité des décisions d'équipement, est contingente à l'existence de contraintes financières, mais que ce critère a moins d'importance en l'absence de celles-ci. Parmi les autres facteurs décisifs des niveaux d'équipement, le taux d'activité des femmes exercera également une influence prépondérante, ainsi que plus globalement le besoin de main d'oeuvre de l'économie.

Les facteurs démographiques et spatiaux seront également déterminants pour l'évolution future des niveaux d'équipement. Certains auteurs observent qu'en focalisant le débat sur l'usage individuel de la voiture, la question du « *peak car* » pourrait détourner l'attention de la croissance démographique, dont dépendront également les évolutions futures du parc automobile des ménages et du trafic automobile. Le rôle de ces facteurs est souligné en particulier par plusieurs auteurs britanniques qui observent que, l'usage individuel de la voiture ayant tendance à plafonner, l'ampleur de la croissance démographique conjuguée avec la distribution spatiale de la population auront une influence décisive sur l'évolution du trafic total. Or, on observe depuis environ deux décennies des tendances à la ré-urbanisation, avec une reprise de la croissance démographique en cœur d'agglomération dans les grandes métropoles. Certaines tendances lourdes de la demande y contribuent, en particulier la diminution de la taille des ménages, qui tend à réorienter la demande vers des logements de petite taille. Dans le contexte britannique, plusieurs auteurs soulignent également le rôle crucial de l'immigration, qui exerce une influence tant sur la croissance démographique globale que sur sa localisation, à travers le solde migratoire et le solde naturel induit. L'immigration tend à être plutôt localisée dans les zones denses, exerçant une influence à la baisse sur les niveaux moyens d'équipement et d'usage de la voiture. Les politiques publiques de planification et d'aménagement contribuent également à réorienter la localisation des nouveaux développements urbains, en privilégiant la densification des zones urbanisées existantes sur l'extension des zones urbanisées. Cependant, d'un autre côté, la rareté de l'offre disponible et les tensions sur les prix immobiliers dans les zones denses entraînent un effet d'éviction des classes moyennes vers les territoires périphériques, suscitant de manière paradoxale une augmentation des besoins de mobilité et de la dépendance automobile, dans un contexte de difficultés économiques renforcées, et soumettant les ménages à une « double contrainte ». Les effets paradoxaux des difficultés économiques rencontrées par les ménages pourraient limiter l'efficacité des politiques d'aménagement et de transport dans leur volonté de réduire l'usage de la voiture.

Parmi les facteurs qui détermineront les niveaux futurs d'usage des véhicules, le plus important est certainement l'évolution des prix des carburants. Bien que celle-ci soit caractérisée par une volatilité accrue, la tendance de long terme est clairement orientée à la hausse, et l'ensemble des tendances de fond déjà soulignées nourrissent la perspective, sinon d'une poursuite de la hausse des prix, du moins de leur maintien à un niveau élevé. En revanche, on ignore à ce stade de quelles marges de progrès on dispose pour l'augmentation de l'efficacité énergétique des véhicules, qui dépendra du progrès technique ainsi que d'éventuelles ruptures technologiques. Les motorisations alternatives, en particulier hybrides, présentent certainement d'importantes perspectives de déploiement, qui pourraient desserrer la contrainte monétaire que représentent aujourd'hui les prix des carburants, en favorisant l'utilisation d'énergies alternatives aux énergies fossiles. La diffusion de ce type de motorisations exercerait également une pression modératrice sur l'évolution des prix en réduisant la demande. Quant aux bénéfices de la transition vers le *diesel* en termes d'économies réalisées, de consommation de carburant et d'émissions de gaz à effet de serre, ils devraient atteindre prochainement leurs limites, compte tenu d'un taux de *dieselisation* déjà très élevé et qui tend maintenant à ralentir sa progression depuis quelques années.

Les facteurs démographiques et spatiaux exerceront également une influence sur les niveaux d'usage des véhicules, en lien avec les politiques d'aménagement et de transport. Ainsi que nous l'avons souligné, si un certain nombre de tendances contribuent au renouveau de l'attractivité des zones denses, en même temps les effets d'éviction tendent à s'accroître pour les classes moyennes et les plus modestes, du moins dans les grandes agglomérations. Il n'est donc pas certain que les logiques de périurbanisation soient parvenues à leur terme, mais il est plus vraisemblable que le prix de l'accès aux zones centrales et bien desservies par les transports collectifs augmente, entraînant un filtrage social accentué avec d'importantes répercussions sociales et sanitaires, compte tenu d'un allongement des temps de transport. Cette évolution traduit probablement une évolution dans les préférences des ménages, qui tendraient, davantage que par le passé, à plébisciter les zones denses et accessibles. Le retour de la génération du baby-boom vers les centres-villes pourrait également y contribuer. D'une manière générale en effet, cette génération tend à déterminer, en raison de son nombre, les tendances globales.

Les évolutions dans les préférences des ménages peuvent être vues comme une opportunité pour les politiques d'aménagement urbain qui cherchent à maîtriser la consommation d'espace de la ville, tout comme les politiques de déplacements s'efforcent de réduire l'usage de la voiture, dans une logique plutôt malthusienne qui voit le développement plutôt sous l'angle des nuisances qu'il entraîne et cherche à le « raisonner ». Selon cette logique, l'essentiel serait de « changer les comportements » pour les rendre « vertueux » et « harmonieux » au regard des critères édictés par les experts. Cependant, les tendances actuelles suggèrent un paradoxe qui semble globalement échapper aux planificateurs ainsi qu'aux experts de la mobilité, à savoir qu'à une époque où les choix de la génération du « baby-boom » se portaient plutôt vers l'habitat pavillonnaire en périphérie des villes et des modes de vie axés sur l'automobile, dans une logique de desserrement spatial et de « colonisation » de nouveaux territoires, la compétition résidentielle et sociale pour l'accès aux zones centrales et accessibles était moindre, et les prix immobiliers ne connaissaient pas encore l'envolée qu'ils ont connue depuis la fin des années 1990. Les trajectoires résidentielles contribuaient alors à un relâchement des tensions sur les marchés

immobiliers, permettant la mobilité résidentielle de tous. Ce paradoxe suggère que différentes versions de ce qui constitue un développement « vertueux » sont possibles. La vertu, en effet, peut être conçue comme un renforcement des contraintes pour les ménages et les individus, qui conduirait l'ensemble de la société à adopter des comportements plus sobres, que ces contraintes soient d'ordre économiques, spatiales ou autres. Les politiques actuelles sont sans doute vertueuses selon ce critère, mais leurs répercussions économiques et sociales ne sont guère prises en compte, ni leur adéquation globale avec les besoins de la population. A l'inverse, la vertu peut être conçue comme un relâchement des contraintes individuelles, favorisant l'augmentation du niveau de vie et la prospérité. Ce débat semble aujourd'hui largement occulté, tant la mise en application locale de politiques globales, notamment de lutte contre le changement climatique, tend à entraîner l'uniformisation des discours et leur moralisation, contribuant à empêcher certains débats sur des questions fondamentales de politiques publiques, tout en culpabilisant les points de vue dissidents.

Parmi les autres facteurs susceptibles d'exercer une influence sur l'usage de la voiture, l'absence d'investissements dans les infrastructures est également susceptible de jouer un rôle, en lien avec leur congestion croissante. Les limites de capacité des voiries devraient ainsi limiter les possibilités de croissance future du trafic, et donc de l'usage moyen de la voiture. Observons que le problème de la congestion tend également à affecter les transports en commun dans les zones urbaines les plus denses, entraînant globalement une dégradation des temps de transport qui incite les individus à réduire leur mobilité. Cette tendance est peu susceptible de s'inverser à l'avenir, compte tenu des politiques de dissuasion de l'usage de la voiture en ville qui tendent simultanément à la restriction du stationnement, des vitesses de circulation et de l'espace de voirie alloué à la voiture, d'autant que les distances des déplacements vers le travail continuent de s'allonger. Il est probable que ces évolutions contribueront également à réorienter les choix résidentiels des ménages de manière à limiter les temps de transport.

Les préférences des ménages en matière de choix de mode joueront également un rôle dans les évolutions futures. Le vélo présente de ce point de vue un potentiel intéressant en termes de report modal, dans la mesure où la majorité des déplacements en voiture sont de portée intermédiaire, et où celui-ci bénéficie d'une bonne image au sein de la population. Le passage du stade d'un moyen de transport bénéficiant d'une attitude favorable à celui d'une pratique régulière impliquera toutefois des évolutions dans les aménagements urbains de manière à en faciliter et en sécuriser l'usage.

Pour conclure, on examine les implications du retournement de tendance constaté au niveau des politiques publiques, au point de vue économique, fiscal, social, environnemental et technologique, en commençant par les implications économiques et fiscales. L'une des répercussions majeures de la baisse du trafic automobile est la diminution des recettes fiscales qui en découlent. La fiscalité sur les carburants constitue en effet l'une des principales sources de financement de l'Etat et des collectivités territoriales. L'impact d'une baisse du trafic, dans ce contexte, est d'autant plus important que la *dieselisation* du parc, combinée avec l'amélioration des moteurs, conduit globalement à une réduction de la consommation de carburant, même si celle-ci est en partie compensée par l'effet de rebond. Une alternative pour minimiser l'impact

d'une réduction de la consommation de carburant sur les recettes fiscales consisterait donc à changer d'assiette de la fiscalité, en la basant sur l'utilisation des véhicules plutôt que directement sur la consommation de carburant, c'est-à-dire d'instaurer une tarification à l'usage. Toutefois, en cas de baisse de l'utilisation des véhicules, les recettes fiscales en seraient également affectées.

Observons également que les recettes indexées sur le trafic routier, telles que les redevances des péages, sont partiellement affectées au financement des alternatives à la voiture, dont les infrastructures de transport collectif. Par conséquent, en cas de réduction du trafic, les sources de financement du transport collectif s'en trouvent également affectées. C'est donc « le serpent qui se mord la queue » puisque toute augmentation de la fiscalité pourrait inciter les ménages à réduire leur consommation et leur mobilité, avec des répercussions négatives sur les recettes générées. Ces mécanismes suggèrent que la solution optimale réside sans doute dans un dosage approprié de la pression fiscale, qui permet de maximiser les recettes sans dissuader l'usage de la voiture, de manière à optimiser le produit du taux d'imposition par l'assiette de la fiscalité. Cela passe évidemment par une compréhension fine des comportements des ménages et en particulier de leur sensibilité au prix du carburant.

Le plafonnement de l'usage de la voiture est également susceptible d'affecter la rentabilité des projets d'infrastructure en cas de prévisions inférieures à la réalité. La question se pose dans ce cas des modalités de partage du risque entre les concessionnaires de réseaux et la puissance publique. L'augmentation des tarifs des péages, en effet, ne suffira pas nécessairement à rendre les projets rentables, le consentement des ménages à payer pour un gain de temps et de vitesse n'étant pas illimité.

Une autre question cruciale est celle de l'impact du trafic automobile sur la croissance économique. En effet, si l'impact de la croissance économique sur le trafic automobile est bien connu, l'inverse n'est pas vrai, bien que certains auteurs suggèrent que l'augmentation du trafic contribue de manière importante à la croissance économique, dont elle constituerait un indicateur avancé. Si cette relation est avérée, elle devrait également être prise en compte dans les arbitrages au niveau des politiques publiques.

Enfin, il semblerait que les ménages soient devenus plus sensibles aux variations de prix des carburants. Au point de vue des politiques publiques, cette tendance augmente l'efficacité des instruments de politique économique basés sur la tarification et la fiscalité en vue d'aider à accomplir différents objectifs en matière de congestion, de sécurité routière et de réduction des émissions. En effet, des élasticités-prix faibles impliquent que les réformes basées sur le signal-prix sont relativement inefficaces pour modifier les comportements¹¹⁸, les augmentations de prix ayant pour seul effet de pénaliser les automobilistes. À l'inverse, des élasticités importantes impliquent que les consommateurs peuvent réduire leurs déplacements de manière à compenser l'augmentation des prix.

Au point de vue social, la capacité des habitants des territoires – et des territoires eux-mêmes – à se relever d'un choc majeur sur les prix de l'énergie, tel qu'une multiplication par deux ou par trois

¹¹⁸ Elles le sont au contraire sur le plan des recettes fiscales (puisque l'assiette fiscale demeure stable), qui peuvent permettre d'améliorer la compétitivité des transports en commun.

du prix du pétrole envisagée dans certains scénarios gouvernementaux de crise, apparaît donc très variable selon le type de territoire. Cette capacité, que l'on désigne généralement par le terme de *résilience*¹¹⁹, s'avère nettement plus importante dans les agglomérations que dans les espaces diffus. Dans l'analyse des risques sociaux associés à une augmentation des coûts de la mobilité, on peut également distinguer la vulnérabilité des habitants des différents territoires de leur résilience, la première étant définie comme l'assiette du risque – en termes de pourcentage de la population présentant un niveau de risque déterminé – tandis que la seconde représente la capacité de la population à se relever des dommages subis. Cependant, ces deux dimensions sont cumulatives, les territoires de faible densité étant à la fois caractérisés par une plus forte vulnérabilité et une plus faible résilience. La raison de la relation entre vulnérabilité et résilience réside dans le fait que les distances de déplacements et le choix de mode ne sont évidemment pas indépendants de la distribution spatiale des activités et de l'offre alternative. De ce point de vue, l'enjeu consiste à mettre en œuvre des organisations territoriales et de l'offre de transport qui soient robustes à des scénarios critiques.

La problématique du risque social et territorial induit par l'augmentation des prix de l'énergie tend de plus en plus à être prise au sérieux dans les travaux gouvernementaux et ministériels et suscitent des programmes de recherche qui visent à mieux évaluer ce risque et à le juguler. Celle-ci est généralement abordée sous un angle principalement spatial. Cependant, cette grille de lecture doit être complétée et croisée avec un angle d'attaque plus social. Si, en particulier, on analyse la vulnérabilité des ménages en tenant compte non seulement des coefficients budgétaires mais également des ressources financières dont ils disposent, le critère de revenu devient prééminent pour l'identification de la vulnérabilité, et permet de cibler les populations à traiter en priorité, dans un contexte de raréfaction de l'aide publique.

Sur un plan environnemental, la tendance à la croissance continue du trafic constitue une limite évidente aux efforts consacrés à l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, dans la mesure où elle en réduit les bénéfices. Elle rend problématique l'atteinte des objectifs dits du « *facteur 4* » de réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050¹²⁰. Elle limite également les bénéfices des efforts consacrés à l'augmentation de l'offre de transports par la construction de nouvelles infrastructures afin de réduire la congestion, bien qu'il soit aussi possible de faire valoir que, en l'absence de ces efforts, la situation aurait été encore pire. Cette discussion s'inscrit dans un débat qui présente un caractère plus général, entre les partisans du

¹¹⁹ D'une manière générale, la résilience désigne la capacité de personnes, de systèmes ou d'organisation confrontés à des chocs externes (catastrophes, crises, traumatismes...) à se reconstituer en dépit des dommages subis. Dans le cas d'une perte de mobilité découlant d'une forte augmentation des prix des carburants, la résilience mesurerait donc la capacité des individus et des ménages à retrouver leur niveau de mobilité initial. Bien entendu, la disponibilité d'une offre alternative de type « transports en commun » peut contribuer à assurer aux individus une mobilité résiliente, les rendant de ce fait moins vulnérables à long terme. Mesurer la résilience est cependant une chose difficile car elle suppose de mettre en évidence des évolutions durables ; or, les prix sont caractérisés par une forte volatilité. La mesure de la résilience au travers d'un indicateur quantitatif, qui reste à définir, impliquerait donc de se placer dans une perspective de moyen terme, de manière à lisser les fluctuations annuelles et à analyser des niveaux moyens avant et après la crise.

¹²⁰ Ainsi, Millard-Ball et Schipper (2010) relèvent que les projections du trafic automobile aux Etats-Unis ne permettent pas de s'attendre à une réduction des émissions de CO₂ à l'horizon 2035, en dépit de progrès considérables de l'efficacité énergétique des véhicules, compte tenu d'une croissance annuelle de 1,7 % du trafic automobile.

progrès technique et de l'accroissement de l'offre afin d'améliorer les conditions de vie, et les adeptes du malthusianisme comme solution pour enrayer la croissance et par là-même ses nuisances. Ce débat n'a jamais véritablement été traité de manière complètement rationnelle et ouverte, même si la *doxa* penche aujourd'hui plutôt du côté des malthusiens, parfois déguisés en environnementalistes, qui souhaitent brider la croissance en augmentant le coût d'accès aux ressources, arguant de leur caractère limité dans un monde fini. Ainsi, des recherches économétriques ont mis en évidence l'existence d'un « effet de rebond » (*Khazoom, 1980 ; Greene, 1992*) par lequel les ménages utilisent les gains d'efficacité énergétique des véhicules pour conduire plus, ce qui limite évidemment les baisses de consommations énergétiques qui auraient dû en résulter. Ce type d'arguments peut être mis en avant par les malthusiens qui y verront essentiellement les bénéfices limités du progrès technique, au moins partiellement annulés par l'évolution des comportements. Ils ne semblent pas percevoir, toutefois, que si l'impact environnemental de la mobilité n'est en effet que faiblement réduit, en revanche le progrès technique a permis une augmentation du niveau global de mobilité en réduisant le coût réel de la ressource. Cependant, d'un point de vue strictement environnemental, la plupart des décideurs et des techniciens s'accordent à considérer que les évolutions de la technologie seront insuffisantes pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, et qu'une modification des comportements s'avérera également nécessaire, bien que les aspects d'acceptabilité sociale de mesures de réduction de la mobilité soient le plus souvent négligés ou sous-estimés, comme si un consensus existait au sein de la population dans ce domaine et comme si celle-ci n'était pas soumise à un certain nombre de contraintes qui rendent certains choix impossibles, ou du moins qui en réduisent l'attrait et en augmentent le coût.

Cependant, ainsi que l'observe *Millard-Ball et Schipper (2010)*, le contexte actuel de plafonnement du trafic automobile tend à rendre l'atteinte de ces objectifs moins utopiques. Si on se focalise sur les objectifs environnementaux, on pourrait dire que l'évolution actuelle des circonstances économiques et le plafonnement de l'usage de la voiture qui en résulte peuvent être vus comme une opportunité dans ce cadre. Autrement dit, « à quelque chose malheur est bon ». Toutefois, il convient d'en mesurer également les répercussions sociales, dans la mesure où cette réduction de la mobilité pourrait recouvrir des renoncements à des déplacements pourtant réputés incompressibles, et des arbitrages budgétaires défavorables à la mobilité.

D'une manière générale, la perspective d'un déclin substantiel de l'usage de la voiture se heurte à la réalité de sa place incontournable pour l'organisation de la mobilité quotidienne dans les sociétés contemporaines – même si certaines alternatives telles que le vélo semblent présenter un potentiel important qui n'est encore que faiblement exploité - ainsi qu'à la croissance démographique qui tend à se poursuivre. En parallèle, pour inciter les individus à réduire sérieusement leur niveau d'usage de la voiture, il sera nécessaire d'être en mesure de développer des alternatives crédibles proposant un niveau équivalent en matière de confort, de temps de parcours et de flexibilité, qui couvriraient l'ensemble des territoires, et non seulement les zones urbanisées. En particulier, les principaux points faibles de l'offre de transports collectifs – outre le fait qu'elle ne dessert pas l'ensemble du territoire, contrairement à la voiture - semblent aujourd'hui résider dans la qualité des correspondances et les limites capacitaires dont résultent parfois des phénomènes de congestion, notamment dans l'agglomération parisienne, ce qui en

diminue également la fiabilité, et entraîne une dégradation sensible de la qualité de vie. Or, la volonté de développer le transport public se heurte déjà aux contraintes budgétaires des collectivités locales, rendant peu probable l'émergence d'une desserte fine et cadencée des zones urbaines dans un proche futur. L'urbanisation est elle-même difficile à contenir en raison des contraintes de capacité des zones denses et des limites aussi bien réglementaires que techniques et humaines à la densification, ainsi que des tensions sur les prix immobiliers qu'elle génère, induisant un coût croissant d'accès aux territoires centraux. En l'absence d'alternatives sérieuses, un déclin très important de l'usage de la voiture ne pourrait résulter en pratique que d'une crise économique et énergétique extrêmement grave ou bien d'une réorganisation en profondeur des modes de vie, de l'habitat, du travail et des territoires, selon des schémas antérieurs à l'âge industriel, en recherchant le retour à des effets de proximité qui permettent de limiter l'activité du transport. Cependant, les modes actuels de production n'en prennent pas le chemin, la globalisation agissant de plus en plus dans le sens d'une déconnexion des lieux de production, de consommation ou encore de travail et de résidence.

Une telle mutation pourrait elle-même être choisie ou subie, selon que ces évolutions seront ou non anticipées et maîtrisées. L'une des principales contradictions à surmonter réside en effet dans l'écart de temporalité entre les améliorations de l'offre de transport, qui requièrent beaucoup de temps, et les effets d'un choc énergétique qui sont rapides et soudains. Le renforcement des tensions sur les prix de l'énergie devrait globalement inciter les ménages autant que les constructeurs à évoluer vers des véhicules plus sobres en énergie, stimulant la recherche et le progrès technique. La solution, de toute évidence, ne sera pas unique mais plurielle. Elle ne pourra pas être basée uniquement sur l'évolution des comportements, pas plus qu'elle ne pourra être seulement technologique, urbanistique, fiscale, ou basée sur l'augmentation de l'offre de transport, mais l'ensemble des leviers de changement devraient pouvoir être utilisés, si possible de façon coordonnée et harmonieuse.

« Toute notre connaissance découle de notre sensibilité »

Léonard de Vinci

BIBLIOGRAPHIE

- Abramowitz, M. and Stegun, I. (1965)**, « Handbook of Mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables », Dover Press, New-York.
- ADEUS (2010)**, “L’Enquête Ménages Déplacements – Baisse de la mobilité sur la CUS: des modes de vie en évolution”, Les notes de l’ADEUS, note n°3.
- Aguilera, A., Madre, J-L. et Mignot, D. (2003)**, « Les villes ont-elles achevé leur transition ? », Actes des Seizièmes Entretiens Jacques Cartier, Lyon.
- Ajanovic, A. and Haas, R. (2012)**, « The role of efficiency improvements vs. price effects for modeling passenger car transport demand and energy demand—Lessons from European countries », *Energy Policy*, 41, 36-46.
- Alperovitch, G., Deutsch, J., & Machnes, Y. (1999)**, “The demand for car ownership: Evidence from Israeli data”, *International Journal of Transport Economics*, 26(3), 351 –375.
- Amemiya, T. (1971)**, « The estimation of variances in a variance-component model », *International Economic Review*, 12, 1-13.
- Andersen, E.B. (1970)**, « Asymptotic properties of conditional maximum likelihood estimators », *Journal of the Royal Statistical Society B* 32, 283-301.
- Anderson, T.W. and Hsiao, C. (1982)**, « Formulation and Estimation of dynamic models using panel data », *Journal of Econometrics*, 18, 47-82.
- Andreev, P., Salomon, I., & Pliskin, N. (2010)**, “Review: State of teleactivities”, *Transportation Research Part C*, 18 (1), 3 – 20.
- Aoki, M. and H. Yoshikawa (2002)**, “Demand Saturation/Creation and Economic Growth”, *Journal of Economic Behaviour and Organization*, Vol. 48, pp. 127-154.
- ARCADIS-TRANSAE-LET, 2012**, « Ruptures. Impact d’une crise économique majeure sur les comportements de mobilité résidentielle et transport des ménages », rapport final de recherche, PREDIT G06 Politiques de transport, 132 p.
- Arellano, M. and Bond, S. (1991)**, “Some tests of specification for panel data: Monte-Carlo evidence and an application to employment equations”, *Review of Economic Studies*, 58, 277-297.
- Arellano, M. and Bover, O. (1995)**, “Another look at the instrumental variables estimator of error-component models”, *Journal of Econometrics*, 68, 29-51.
- Arellano, M. (2003)**, “Discrete choices with panel data”, *Investigaciones Economicas*, 27 (3), 423-58.
- Arellano, M. and Carrasco, R. (2003)**, “Binary choice panel data models with predetermined variables”, *Journal of Econometrics*, 115, 125-157.
- Arellano, M. and Bonhomme, S. (2011)**, “Nonlinear panel data analysis”, *Annual Review of Economics*, Vol 3., 395-424.

- Armoogum, J., Hubert, J.P., Roux, S., Le Jeannic, T. (2010)**, « Plus de voyages, plus de kilomètres quotidiens : une tendance à l'homogénéisation des comportements de mobilité des Français, sauf entre ville et campagne », in "La mobilité des Français – panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements", Revue du CGDD, Décembre 2010.
- Armoogum, J. et Roux, S. (2012)**, « Mise en perspective des Enquêtes Nationales Transport 1973-74, 1981-82, 1993-94 et 2007-08 », IFSTTAR.
- Ashley Halsey (2012)**, "Has the passion gone out of America's fabled love affair with the automobile ?", Washington Post, May 21.
- Australian Bureau of Statistics (2009)**, "Home and away: The living arrangements of young people", Australian Social Trends, Report 4102.0.
- Australian Bureau of Statistics (2011a)**, "2009–10 household expenditure survey", Australia Report 6530.0.
- Australian Bureau of Statistics (2011b)**, "Education and work", Australia (1991–2011), Report 6227.0.
- Avrillier, P., Hivert, L. and Kramarz, F. (2010)**, "Driven Out of Employment? The Impact of the Abolition of National Service on Driving Schools and Aspiring Drivers", 24 p., British Journal of Industrial Relations, Volume 48, Issue 4, December 2010, pp784-807. Blackwell Publishing Ltd/London School of Economics.
- Baccaïni B., Sémécurbe F., Thomas G. (2007)**, « Les déplacements domicile-travail amplifiés par la périurbanisation », Insee Première n° 1129.
- Baccaini, B. et Sémécurbe, F. (2009)**, « La croissance périurbaine depuis 45 ans – Extension et densification », INSEE Première, n°1240.
- Balestra, P. et Nerlove, M. (1966)**, « Pooling cross-section and time-series data in the estimation of a dynamic model : the demand for national gas », *Econometrica*, 34, 585-612.
- Baltagi, B.H. and Griffin, J.M. (1983)**, "Gasoline demand in the OECD: an application of pooling and testing procedures", *European Economic Review*, 22, 117-137.
- Baltagi, B.H. (2008)**, "Econometric Analysis of Panel data", Wiley, 4th edition, Chichester.
- Bates, G., and Neyman, J. (1951)**, "Contributions to the Theory of Accident Proneness 11: True or False Contagion", *University of California Publications in Statistics* 1, 215-53.
- Battistin, E., Minaci, R. and Weber, G. (2003)**, "What can we learn from recall consumption data ?", *Journal of Human Resources*, 38 (2), 354-385.

- Baxandall, Ph., Davis, B., Dutzik, T. (2012)**, "Transportation and The New Generation : why young people are driving less and what it means for transportation policy", Frontier Group and U.S. Pirc Education Fund.
- Beaucire F., Chalonge L. (2007)**, "Le desserrement des emplois au sein des aires urbaines. Dépendance, autonomie ou intégration ?", *Annales de la Recherche Urbaine*, n°102.
- Beauvais, J-M. (2012)**, « Les transports en commun coûtent trois fois moins cher que la voiture », Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme et de Transport.
- Becker, G. et Murphy, K.M (1988)**, "A theory of rational addiction," *Journal of Political Economy*, 96, pp.675-700.
- Becker, G. S., Grossmann, M. et Murphy, K.M. (1994)**, "An empirical analysis of cigarette addiction," *American Economic Review*, 84, pp. 396-418.
- Berg, H.-Y. (2001)**, "Understanding subgroups of novice drivers: A basis for increased safety and health", Linköping: Faculty of Health Sciences, Linköping University.
- Ben-Akiva, M.E. (1974)**, « Structure of passenger travel demand models », *Transportation Research Record* 526.
- Berri, A., J.-L. Madre et Y. Bussière (2005)**, « Etalement urbain et croissance de la circulation automobile des ménages en France : projection aux horizons 2010 et 2020 », *Recherche Transports Sécurité*, 89, 305-26.
- Berri, A. (2009)**, "A cross-country comparison of household car ownership - A Cohort Analysis", *IATSS Research*, Vol 33, n°2.
- Bertrand J.M. (2005)**, « Faciliter l'accès des jeunes au permis de conduire : étude et propositions », *Rapport parlementaire*, 114 p.
- Bessy-Pietry P., Hilal M. & Schmitt B. (2000)**, « Recensement de la population de 1999 : évolutions contrastées du rural », *Insee Première*, n°726, 4p.
- Bigot, R. (2009)**, "Les classes moyennes sous pression", *Consommation et modes de vie* n°219.
- Billari, F. and Liefbroer, A.C. (2010)**, « Towards a new pattern of transition to adulthood ?", *Advances in Life Course Research*, Vol 15, n°2, p. 59-75, Elsevier.
- BITRE - Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics (2012)**, "Traffic Growth: Modelling a Global Phenomenon", Report 128, Canberra ACT.
- Bjørner, Thomas Bue (1999)**, "Demand for Car Ownership and Car Use in Denmark: A Micro Econometric Model", *International Journal of Transport Economics*, Vol. 26: 3, pp. 377-95.
- Blumen, O. and Kellerman, A. (1990)**, "Gender differences in commuting distance, residence and employment location: Metropolitan Haifa 1972 and 1983", *Professional geographer*, 42 (1), 54-71.

- Bodier M. (1996)**, « La voiture : une habitude qui se prend jeune », *Insee Première*, n° 474, 4p.
- Boltanski, L. et Chiappello, E. (1999)**, « Le nouvel esprit du capitalisme », Gallimard.
- Boulahbal, M. (2001)**, « Effet polarisant du lieu de travail sur le territoire de la mobilité quotidienne des actifs », in *Recherche Transports Sécurité*, n°73, p 43-63.
- Boyd, D. M., Ellison, N. B. (2007)**, “Social network sites: Definition, history, and scholarship”, *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13 (1), 210 – 230.
- Brons, M., Nijkamp, P., Pels, E. et Rietveld, P. (2008)**, « A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand. A SUR approach », *Energy Economics*, 30, 2105-2122.
- Buehler, R. And Pucher, J. (2012)**, “Demand for Public Transport in Germany and the USA: An Analysis of Rider Characteristics”, *Transport Reviews*, Vol 32, n°5, 541-567.
- Bureau of Labor Statistics (2011)**, “School’s out. Spotlight on statistics”, Retrieved October 10, 2012, from http://www.bls.gov/spotlight/2011/schools_out.
- Burwell, D. (2012)**, "America's Love Affair With the Motor Car Is Running on Empty", *The Guardian*, June 12.
- Butler, J.S. and Moffitt, R. (1982)**, “A computationally efficient quadrature procedure for the one-factor multinomial probit model”, *Econometrica*, 50, 761-764.
- Cailly, L. (2011)**, « Automobile et modes de vie périurbains, Constats et perspectives », séminaire « mobilités urbaines », Rennes.
- Cairns, S., Hass Klau, C. Goodwin, Ph. (1998)**, “Traffic impact of highway capacity reductions: assessment of the evidence”, Landor Publishing, London.
- Calvet, L. et Marical, F. (2011)**, « Consommation de carburant : effet des prix à court et à long terme par type de population », *Economie et Statistiques* n°446.
- Calzada C, Marchal P, Morellet O, Soleyret D (1997)**, « Evolution du trafic français de voyageurs à longue distance : tendances passées et orientations futures », *Recherche Transports Sécurité* n°56.
- Cardoso, N. and Gardes, F. (1996a)**, « Estimation de lois de consommation sur un pseudo-panel d'enquêtes de l'INSEE (1979, 1984, 1989) », *Economie et Prévision* n° 5, pp. 111-125.
- Cardoso, N., Gardes, F. (1996b)**, « La consommation des ménages pauvres », *Revue Economique*.
- Carrasco, R. (1998)**, « Binary choice with binary endogenous regressor in panel data : estimating the effects of fertility on female labour participation », *Journal of Business Economic and Statistics*, 19, 385-394.
- Cascajo, R., Diaz Olvera, L., Monfort Salvador, V., Monzon, A., Plat, D., Ray, J-B. (2014)**, “Situation de crise et mobilité quotidienne. Le cas de l’Espagne”, 51ème colloque de l’Association de Science Régionale de Langue Française (ASRDLF), Cité Descartes, Marne-la-Vallée, France.

CEREMA-IFSTTAR (2015), « Mobilité en transitions – Connaître, comprendre et représenter », sous la direction de Jimmy Armoogum, Tristan Guilloux et Cyprien Richer, Collection Rapports de recherche et rapports techniques.

CERTU (2010), « Les déplacements vers le travail : neuf vérités bonnes à dire », in Le Point Sur Mobilités et transports, n°14.

Cerea, X. et Merle, N. (2012), « La mobilité dans les villes moyennes : la voiture domine toujours », in « La mobilité urbaine des années 2000 », Collection Références, éditions CERTU.

Chamberlain, G. (1980), « Analysis of covariance with qualitative data », Review of Economic Studies, 47, 225-238.

Chamberlain, G. (1982), « Multivariate regression models for panel data », Journal of Econometrics, 18, 5-46.

Chamberlain, G. (1984), "Panel data", in The Handbook of Econometrics, Z. Griliches and M. Intriligator, eds., Chapter 22, North-Holland, Amsterdam, 1247-1318.

Choo, S., Mokhtarian, P.L and Salomon, I. (2005), "Does telecommuting reduce vehicle-miles traveled? An aggregate time-series analysis for the U.S", Transportation, Vol 32, pp. 37-64.

Choquet, O. (1983), « L'automobile, un bien banalisé », Economie et Statistique, n° 154, pp. 47-55.

Chozick, A. (2012), "As Young Lose Interest in Cars, G.M Turns to MTV for Help", New York Times.

Cisco (2011), "Connected World Technology Report. The Future of Work : Information Access Expectations, Demands and Behavior of the World's next generation workforce", San José, USA.

Claisse, G., Diaz Olvera, L., Klein, O., Paulo, C., Plat, D., Pochet, P. (2003), « Inégalités de déplacement et équité sociale ». Rapport pour le compte de la DRAST, Programme PREDIT-PUCA, Inégalités et Déplacements, Laboratoire d'économie des transports, Lyon.

Cobb-Clark, D. A. (2008), "Leaving home: What economics has to say about the living arrangements of young Australians", Australian Economic Review, 41 (2), 160–176.

Commissariat Général au Développement Durable, alias CGDD (2012), « La circulation routière augmente à un rythme ralenti depuis 2003 », Le Point Sur n°118.

Commissariat Général au Développement Durable, alias CGDD (2014), « 51^e rapport à la Commission des Comptes Transport de la Nation (CCTN) », *Références*, Juillet 2014.

Collet, R. (2007), « Dynamique de la motorisation et usage de l'automobile en France – L'Île-de-France en perspective », Thèse pour le Doctorat en Sciences Economiques, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne.

Collet, R. (2008), "Addiction à l'usage de l'automobile en France et mesures d'élasticités", 25^{ème} journées de micro-économie appliquée, Saint-Denis, La Réunion.

- Collet R., de Lapparent M. et Hivert L. (2010)**, «Addiction to car use and dynamic elasticity measures in France», Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research (WCTR), Lisbonne.
- Collet, R. (2012)**, "Household car use in France: a demographic and economic analysis", Economics Bulletin, 2012, Vol. 32, Issue 1, pp. 475-485.
- Collet, R., Madre, J-L. et Hivert, L. (2013)**, « Vers quels plafonds pour la motorisation et l'usage de la voiture ? », *Economie et Statistiques*, 457 – 458.
- Collet, R. et Madre, J-L. (2015)**, « Projet ANDEMO – Analyse des Déterminants de la Mobilité », sous la direction de Virginie DEJOUX, Université Paris I-Panthéon-Sorbonne – Institut de Démographie (IDUP), IFSTTAR.
- Congressional Budget Office (2008)**, "Effects of Gasoline Prices on Travel Behavior and Vehicle Markets", Publication No. 2883.
- Cornut, B., Madre, J-L., Boucq, E., Hivert, L. (2014)**, "Diffusion of car ownership and use in Paris metropolitan area since the mid 70's", PANAM - XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito Transporte y Logística, June 2014, Spain. 16 p, 2014.
- Coulangeon, P. et Petev, I.D. (2013)**, « L'équipement automobile entre contrainte et distinction sociale », *Economie et Statistiques*, n°457-458.
- Coulombel, N. et Laurent, F. (2013)**, « Les ménages arbitrent-ils entre coût du logement et coût du transport ? Une réponse dans le cas francilien », *Economie et Statistiques*, n° 457 - 458.
- Dahl, C. (1995)**, "Demand for transportation fuels: a survey of demand elasticities and their components", The Journal of Energy Literature, 1, 3-27.
- Dargay, J. and Gately, D. (1997)**, "Income's effect on car and vehicle ownership", Economic Research Reports.
- Dargay, J.M and Vythoulkas, P.C. (1999)**, "Estimation of a dynamic car ownership model : a pseudo-panel approach", Journal of Transport Economics and Policy 33 (3), 238 – 302.
- Dargay, J., Madre, J-L. and Berri, A. (2000)**, "Car ownership dynamics seen through the follow-up of cohorts : comparison of France and the United Kingdom", Transportation Research Record, Vol 1733, n°1, pp. 31-38.
- Dargay, J. (2001)**, "The effect of income on car ownership : evidence of asymmetry", Transportation Research part A 35, 807-821.
- Dargay, J. (2002)**, "Determinants of car ownership in rural and urban areas : a pseudo-panel analysis", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol 38, Issue 5, pp. 351-366.

Dargay, J., Hanly, M., Madre, J-L., Hivert, L., Chlond, B. (2003), "Demotorisation seen through panel surveys: A comparison of France, Britain and Germany", 10th International Conference on Travel Behavior Research, Lucerne, August 2003.

Dargay, J., Hivert, L. and Legros, D. (2006), "An investigation of car ownership in Europe based on the European Community Household Panel", 11th International Conference on Travel Behaviour Research, Kyoto (JP), August.

Davis, B., Dutzik, T. and Baxandall, P. (2012), "Transportation and the New Generation: Why Young People Are Driving Less and What It Means for Transportation Policy", Frontier Groupe and U.S. PIRG Education Fund.

Deaton A. (1985), "Panel Data from a Time Series of Cross Sections", Journal of Econometrics, vol. 30, pp. 109-126.

Dejoux, V., Bussière, Y., Madre, J.-L. and Armoogum, J. (2010), "Projection of the Daily Travel of an Ageing Population: The Paris and Montreal Case, 1975-2020", Transport Reviews, Vol 30, n°4, p. 495-515.

Delbosc, A. and Currie, G. (2012), "Using online discussion forums to study attitudes toward cars and transit among young people in Victoria", proceedings of the Australasian Transport Research Forum, Perth, Australia.

Delbosc, A. and Currie, G. (2013), "Causes of youth licensing decline: a synthesis of evidence", Transport Reviews, Special Issue n°1 on "Peak car".

Department for Environment, Food and Rural Affairs (2002), *"Survey of Public Attitudes to Quality of Life and to the Environment"*, London.

Department for Transport [DfT] (2009), *"National Travel Survey 2008"*, Transport Statistics Bulletin.

Department for Transport (2013), « Road Transport Forecasts 2013 : results from the Department for Transport's National Transport Model ».

De Solère, R. (2012), « Le recul de la voiture en ville » in « La mobilité urbaine des années 2000 », éditions CERTU.

De Solère, R. (2012), "La décennie tramway", in « La mobilité urbaine des années 2000 », Collection Références, éditions CERTU.

De Solère, R. (2012), « La marche et le vélo dans des centres-villes apaisés », in « La mobilité urbaine des années 2000 », Collection Références, éditions CERTU.

De Solère, R. (2012), « Le deux-roues motorisé, le mode impensé », in « La mobilité urbaine des années 2000 », Collection Références, éditions CERTU.

De Solère, R. (2012), Cerea, X. et Merle, N. (2012), « Le travail reste une activité structurante de la mobilité quotidienne », in « La mobilité urbaine des années 2000 », Collection Références, éditions CERTU.

DiCecio, R., Kristie, M., Engemann, M.T, Owyang and Wheeler, C.H. (2008), "Changing Trends in the Labor Force: A Survey", Federal Reserve Bank of St. Louis Review, 90 (1): 47-62.

Doherty, P. and Leinberger, C. (2010), "The Next Real Estate Boom", Washington Monthly.

Dubois-Taine, G. et Chalas, Y. (1997), « La ville émergente », La Tour d'Aigues, Editions de l'Aube.

Dupuy, G. (1999), "La dépendance automobile. Symptômes, analyses, diagnostic, traitements », Paris: Anthropos.

The Economist (2012), "The Future of Driving", 22 September 2012.

Eisenmenger, M., Pötzsch, O., & Sommer, B. (2006), "Germany's population by 2050: Results of the 11th coordinated population projection", Wiesbaden : Destatis.

Elias, N. (1991), "La société des individus", Paris, Fayart.

Eltony, M.N. (1993), "Transport gasoline demand in Canada", Journal of Transport Economics and Policy, 27(2), 193-208.

Engel, E. (1857), « Die Productions- und Consumtionsverhältnisse des Königreichs Sachsen », Statistischen Büreaus des Königlich Sächsischen Ministeriums des Innern.

Espey, M. (1997), "Explaining the variation in elasticity estimates of gasoline demand in the United States : a meta-analysis", Energy Economics, 17, 49-60.

Espey, M. (1998), "Gasoline demand revisited : an international meta-analysis of elasticities", Energy Economics, 20, 273-295.

Fagnani J. (1977), « Activités féminines et transports urbains », Annales de Géographie, vol. 86, n° 477, p. 542-561.

Faivre D'Arcier, B. (2012), « L'équation financière des transports publics urbains », in « La mobilité urbaine des années 2000 », éditions CERTU.

Floch, J-M. et Lévy, D. (2011), « Le nouveau zonage en aires urbaines de 2010 – Poursuite de la périurbanisation et croissance des grandes aires urbaines », INSEE Première n°1375, Octobre 2011.

Foellmi, R. and Zweimüller, J. (2008), "Structural Change, Engel's Consumption Cycles and Kaldor's Facts of Economic Growth", Journal of Monetary Economics, 55 (7), 1317-28.

Fontaine, H. et Hubert, J-P. (1997), « Evolution de l'usage de l'automobile et du risque d'accident », Recherche Transports Sécurité n°57, Octobre-Décembre 1997.

Forum International des Transports (2013), « Usage de la voiture particulière : les tendances à long terme », Rapport de la table ronde n°152.

Fraisie H. (1996), « L'équipement des ménages en voiture. Comparaison des résultats de l'enquête nationale transports et communication 1993-94 et du panel Sofres », Rapport Inrets, 14p.

François, D. (2010), « Se rendre au travail : distances et temps de transport s'allongent », in "La mobilité des Français – panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements", Revue du CGDD, Décembre 2010.

Françoise, C. et Guilloux, T. (2012), « Vers un découplage des mobilités entre les grandes agglomérations et les territoires urbains peu denses », in « La mobilité urbaine des années 2000 », éditions CERTU.

Fraser, A. (2014), « Peak travel in a Megacity : Exploring the role of Infrastructure saturation on the suppression of automobile use », A thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree Master of Science.

Fridstrøm, L. (1998), "An Econometric Model of Aggregate Car Ownership and Road Use", Presented at the 8th World Conference on Transport Research, Antwerp.

Fuller, W.A. and Battese, G.E. (1974), "Estimation of linear models with cross-error structure", Journal of Econometrics, 2, 67-78.

Gallez, C. (1994), « Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché de l'automobile », Thèse pour le Doctorat en Sciences Economiques, Université de Paris I.

Gallez, C., Orfeuil, J.P, Polacchini, A. (1997), "L'évolution de la mobilité quotidienne: croissance ou réduction des disparités ?", Recherche Transports Sécurité, n°56, Juillet-Septembre 1997.

Gardes, F., Goaied, M., et Langlois, S. (1993), "Cross-section versus time-series income elasticities: an estimation on a pseudo-panel of Canadian Surveys (1982-1990)", Communication au 8^{ème} congrès de l'Association Européenne d'Economie, Helsinki.

Gardes, F., Langlois, S., & Richaudeau, D. (1996), « Cross-section versus time-series income elasticities. », Economics Letters, 51, 169 –175.

Gardes, F., Duncan, G., Gaubert, P., Starzec, C. (2005), "A Comparison of Consumption Laws estimated on American and Polish Panel and Pseudo-Panel Data", Journal of Business and Economic Statistics.

Goodwin, Ph. (1987), « Dynamic car ownership modelling », in G. Rhys and G. Harbour (eds.), "Modelling vehicle demand, Alternative views", University of Wales.

Goodwin, Ph. (1992), "A Review of Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long-Run Effects of Price Changes", Journal of Transport Economics and Policy, 26 (2): 155-169.

Goodwin, Ph., Dargay, J. and Hanly (2004), "Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with respect to price and income: a review", *Transport Reviews*, 24 (3), pp. 275-292.

Goodwin, Ph., (2010-2011), "Peak Car", series of five articles in *Local Transport Today*, June 2010 - June 2011, Local Transport Today, London.

Goodwin, Ph. (2013), "Peak travel, peak car and the future of mobility - Evidence, unresolved issues, policy implications and a research agenda", Discussion paper n°2012-13, prepared for the roundtable n°152 on Long-run trends in travel demand.

Gourieroux, C. and Montfort, A. (1994), "Simulation-based econometric methods", Oxford (GB) : Oxford University Press, Core Lecture Series.

Graham, D.J and Glaister, S. (2004), "Road Traffic Demand Elasticity Estimates: A Review", *Transport Reviews*, Vol 24, Issue 3.

Greene, D. and Hu, P. (1986), "A functional form analysis of the short-run demand for travel and gasoline by one-vehicle households", *Transportation Research Record* 1092, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 10-15.

Greene, D. (1992), "Vehicle use and fuel economy: how big is the "rebound" effect ?", *The Energy Journal*, 13,1.

Greene, D.L.; Kahn, J.R. and Gibson, R.C. (1999), "Fuel Economy Rebound Effect for US Households", *Energy Journal*, 20 (3): 1-31.

Greening, L.A., Greene, D.L., Di Figlio, C. (2000), « Energy Efficiency and consumption – The rebound effect – a survey », *Energy Policy* 28 (6-7) : 389-401.

Grimal, R. (2010), "Mobilité à longue distance: plus de voyages s'effectuent en train, mais les seniors restent adeptes de la voiture", in "La mobilité des Français – panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements", *Revue du CGDD*, Décembre 2010.

Grimal, R. (2012), « Mobility towards homogenization ? A synthetic overview through multivariate analysis », *Transport Research Arena, Procedia Social and Behavioral Sciences*, Elsevier.

Grimal, R. (2013), "Des mobilités plus homogènes ou plus contrastées ?", *Economie et Statistiques*, numéro spécial consacré à l'Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008, Paris.

Grimal, R., Collet, R. and Madre, J-L. (2013), "Is the stagnation of individual car travel a general phenomenon in France ? An analysis by zone of residence and standard of living", *Transport Reviews*, Special Issue n°1 on "Peak car".

Guidez, J.M, Durand, H, Varnaison-Revolle, P., Quetelard, B. (2007), « La mobilité urbaine des années 2000, Vers un découplage entre la possession et l'usage de la voiture ? », fiche « Mobilités : faits et chiffres » n°3, éditions CERTU.

- Guidez, J-M. et De Solère, R. (2012)**, « Et si les Français n’avaient plus seulement une voiture dans la tête ? », in « La mobilité urbaine des années 2000 », éditions CERTU.
- Haas, R., Nakicenovic, N., Ajanovic, A., Faber, T., Kranzl, L., Muller, A., Resch, G. (2009)**, “Towards sustainability of energy systems: a primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies”, *Energy Policy* 36, 4012–4021.
- Hallett S and Stokes G (1990)**, “Attitudes to car ownership - the link with advertising”, Report 562, Transport Studies Unit, Oxford University.
- Hanly, M. and Dargay, J. (2000)**, “Car ownership in Great Britain: panel data analysis”, *Transportation Research Record*, 1718, 83-89.
- Hausman, J.A. (1978)**, “Specification tests in econometrics”, *Econometrica*, 6, 1251-1271.
- Hausman, J.A. and Taylor, W.E. (1981)**, “Panel data and unobservable individual effects”, *Econometrica*, 49, 1377-1398.
- Headicar, P. (2013)**, “The Changing Spatial Distribution of the Population in England: Its Nature and Significance for “Peak car””, *Transport Reviews*, Special Issue n°1 on "Peak car".
- Heckman, J., and Willis, R. (1977)**, “A Beta Logistic Model for the Analysis of Sequential Labor Force Participation of Married Women” *Journal of Political Economy* 85 : 27-58.
- Heckman, J.J. (1979)**, “Sample selection bias as a specification error”, *Econometrica*, 47, pp. 153-161.
- Heckman, J., and Borjas, G. (1980)**, “Does Employment Cause Future Unemployment? Definitions, Questions and Answers from a Continuous Time Model of Heterogeneity and State Dependence”, *Economica*, 247-83.
- Heckman, J.J. (1981)**, “Heterogeneity and State Dependence”, in S.Rosen (Ed), *Studies in Labor Markets*, Chicago University Press, Chicago.
- Hensher, D., Milthorpe, F. and Smith, N. (1990)**, “The demand for vehicle use in the urban household sector: theory and empirical evidence”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 24, 119-137.
- Héran, F., Ravalet, E. et Mathon, S. (2011)**, « La consommation d’espace-temps des divers modes de déplacements en milieu urbain. Recherche complémentaire », Rapport PREDIT, GO1 « Mobilité, territoires et développement durable.
- Herpin, N. et Verger, D. (2000)**, « La consommation des Français. Tome 2 : Transports, Loisirs et Santé », Paris : La Découverte, collection “Repères”.
- Hivert, L. (1996a)**, “Diésélisation et nouveaux diésélistes: les évolutions récentes”, *Actes*, 59, Arcueil (Fr) : INRETS, p. 83-95.

Hivert, L. (1996b), "Le comportement des nouveaux diésélistes", Rapport de convention mission effet de serre, Arcueil (Fr) : INRETS.

Hivert L., Ottmann P., Krakutovski Z., Legros D., Chlond B., Madre J.-L. et Zumkeller, D. (2008), « Multimodalité et tendances démographiques : les changements démographiques et leurs impacts sur l'utilisation des modes », Rapport final de la recherche DEUFRAKO-PREDIT 3/GO1, Ademe, Inrets, 202p.

Hivert, L. (2001), « Le parc automobile des ménages : étude en fin d'année 1999 à partir de la source ParcAuto-SOFRES », rapport de convention INRETS-ADEME, Arcueil (Fr).

Hivert L. (2011), « Short-term break in the French love for diesel? », *Energy Policy*.

Hivert, L. et Madre, J-L. (2012), « L'adaptation des ménages aux hausses du prix du carburant », in « La mobilité urbaine des années 2000 », Collection Références, éditions CERTU.

Honoré, B. (2002), "Nonlinear models with panel data", *Portuguese Economic Journal*, 1, 163-179.

Hsiao, C. (1985), "Benefits and limitations of panel data", *Econometric Reviews*, 4, 121-174.

Hsiao, C. (2003), "Analysis of panel data", Cambridge University Press, Cambridge.

Hivert, L. et Madre, J-L. (2012), « L'adaptation des ménages aux hausses du prix des carburants », in « La mobilité urbaine des années 2000 », éditions CERTU.

Honoré, B.E. and Kyriazidou, E. (2000), « Panel data discrete choice models with lagged dependent variables », *Econometrica*, Vol 68, Issue 4, p. 839-974.

Hourriez, J-M. and Olier, L. (1997), « Niveau de vie et taille du ménage : estimation d'une échelle d'équivalence », *Economie et Statistique*, n°308-310, p. 65-94.

Houthaker, H.S., Verleger, P.K. and Sheehan, D.P. (1974), « Dynamic Demand Analyses for gasoline and residential electricity », *American Journal of Agricultural Economics*, May 1974, p. 412-418.

Huber, P. (1981), « Robust Statistics », Wiley, Chichester.

Hubert, J-P., (2009), "Dans les grandes agglomérations, la mobilité quotidienne des habitants diminue, et elle augmente ailleurs", INSEE Première, n°1252.

Hubert, J-P. et Delisle, F. (2010), « L'allongement des déplacements quotidiens contribue à l'émergence d'espaces urbains multipolaires, tandis que la mobilité baisse au centre des agglomérations », in "La mobilité des Français – panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements", Revue du CGDD, Décembre 2010.

Hubert, J.-P., Madre J.L., Meissonnier, J., Roux S. (2013), " La pause méridienne: un facteur clé de l'évolution de la mobilité en France depuis 35 ans", *Economie et Statistiques*, Paris.

- Hyodo, T. (2012)**, « Japanese facts on car demand », presentation to the ITF roundtable on long-run trends in travel demand, Paris, November 2012.
- IAURIF (2013)**, « Peak car : La baisse de la mobilité automobile est-elle durable ? », Note rapide Mobilité, n°620.
- Jarrige, J-M. et Raynard, C. (2003)**, « Politiques de stationnement et mobilité locale : approche empirique », Notes de synthèse du SES.
- Johansson, O., Schipper, L. (1997)**, « Measuring the long-run fuel demand of cars », Journal of Transport Economics and Policy, 277-292.
- Juillard M., (2007)**, « Le budget automobile des ménages s'adapte aux prix des carburants », INSEE Première n° 1159.
- Julien, P. (2000)**, « Mesurer un univers urbain en expansion », Économie et Statistique, n°336, p. 3-33.
- Kalinowska, D., Kuhnimof, T., Buehler, R. (2012)**, "Tight Budgets or Environmental Awareness ? The Changing Travel Behaviour of Young Germans", WCTRS 2010.
- Kaufmann, V., Tabaka, K., Guidez, J-M., Louvet, N. (2010)**, "Et si les Français n'avaient plus une voiture dans la tête ? Evolution de l'image des modes de transport », dossier n°225, Editions CERTU.
- Kemel, E., Collet, R. et Hivert, L. (2010)**, « How do French motorists react to a multi-annual fuel price increase ? An econometric analysis based on 1999-2007 panel data », proceedings of the 27th conference of Applied Micro-Economics, Angers.
- Kemel, E., Collet, R. and Hivert, L. (2011)**, "Evidence for an endogenous rebound effect impacting long-run car use elasticity to fuel price", Economics Bulletin, Vol 31, Issue 4.
- Khazoom, J.D. (1980)**, "Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances", The Energy Journal 1 (4): 21-40.
- KIM – Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (2014)**, "Not car-less, but car-later – For young adults the car is still an attractive proposition", report.
- Kitamura, R. and Bunch, D. (1990)**, "Heterogeneity and state dependence in household car ownership: a panel analysis using ordered-response probit models with error components", in M. Koshi (eds), Transportation and Traffic Theory, p. 476-496. Amsterdam (NL): Elsevier Science Publishing Co.
- Kitamura, R. (1990)**, « Panel analysis in transportation planning: an overview », Transportation Research, 24A (6), pp. 401-415.
- Klinger, T., Kenworthy, J. and Lanzendorf, M. (2010)**, "Mobility cultures in urban areas: a comparative analysis of German cities", World Conference on Transport Research.

- Knox, D., Turner, B., Silcock, D., Beuret, K., Metha, J. (2003)**, "Research into Unlicensed Driving: Final report », Department for Transport.
- Kolli Z. (2012)**, « *Dynamique de renouvellement du parc automobile. Projection et impact Environnemental* », Thèse de Doctorat en Sciences Economiques, Université Paris 1.
- Koning, M. (2011)**, « Essai sur la congestion dans les transports à Paris », Thèse en droit-économie-gestion, Université de Paris I - Panthéon - Sorbonne.
- Kuhnimhof, T., Chlond, B., Von der Ruhren, S. (2006)**, "The users of transport modes and multimodal travel behavior – steps towards understanding travelers' options and choices", Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board 1985, 40–48.
- Kuhnimof, T., Buehler, R. and Dargay, J. (2010)**, "A new generation: Travel Trends among Young Germans and Britons", 90th TRB Annual Meeting.
- Kuhnimof, T., Armoogum, J., Buehler, R., Dargay, J., Martin Denstadli, J. And Yamamoto, T. (2012)**, "Men Shape a Downward Trend in Car Use among Young Adults – Evidence from six industrialized countries", Transport Reviews, Vol 32, n°6, 761-779.
- Kuhnimof, T., Buehler, R., Witz, M. And Kalinowska, D. (2012)**, "Travel trends among young adults in Germany: increasing multimodality and declining car use for men", Journal of Transport Geography 24, 443-450.
- Kuhnimof, T. (2013)**, "Who made Peak Car, and How ? A breakdown of Trends over four decades in four countries", Transport Reviews, Special Issue n°1 on "Peak car".
- Kuhnimof, T., Zumkeller, D. and Chlond, B. (2013)**, "Who are the drivers of peak car ? A decomposition of Recent Car Travel Trends for six industrialized countries", proceedings of the 92nd annual meeting of the Transportation Research Board, January 2013, Washington D.C.
- Lachman, M. L., & Brett, D. L. (2011)**, "Generation Y: America's new housing wave", Washington, DC: Urban Land Institute.
- Laganier, J. et Vienne, D. (2009)**, « Recensement de la population de 2006 – La croissance retrouvée des espaces ruraux et des grandes villes », INSEE Première, n°1218.
- Lancaster, T. (2000), « The incidental parameter problem since 1948 », Journal of Econometrics, 95, 391-413.
- Lasserre, V. (2012)**, « Quand les seniors se déplacent davantage », in « La mobilité urbaine des années 2000 », Collection Références, éditions CERTU.
- Le Breton, E. (2008)**, « Domicile-travail : les salariés à bout de souffle », Les Carnets de l'Info.
- Lerman, S. and Manski, C. (1981)**, « On the use of simulated frequencies to approximate choice probabilities », in C. Manski and D. Mc Fadden (Eds), "Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications", Cambridge : MIT Press.

Le Vine, S.E., Jones, P.M, and Polak, J.W. (2009), “Has the historical growth in car use come to an end in Great Britain ?”, proceedings of the European Transport Conference.

Le Vine, S., Latinopoulos, C., & Polak, J. (2013), “A tenuous result : Re-analysis of the link between internet-usage and young adults driving-licence holding. Comments on ‘recent changes in the age composition of drivers in 15 countries’”, Traffic Injury Prevention.

Licaj, I., Haddak, M., Pochet, P., & Chiron, M. (2012), “Individual and contextual socioeconomic disadvantages and car driving between 16 and 24 years of age : A multilevel study in the Rhone Département (France)”, Journal of Transport Geography, 22, 19–27.

Litman, T. (2010), “Changing Travel Demands: Implications for Planning”, www.planetizen.com.

Litman, T. (2011), “The Future Isn’t What It Used To Be. Changing Trends and Their Implications For Transport Planning”, Victoria Transport Policy Institute, 49p. www.vtpi.org/future.pdf.

Litman, T. (2012), “Changing Vehicle Travel Price Sensitivities – the rebounding rebound effect”, www.vtpi.org.

Longuar, Z., Nicolas, J-P. et Verry, D. (2010), “Chaque Français émet en moyenne deux tonnes de CO2 par an pour effectuer ses déplacements”, in "La mobilité des Français – panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements", Revue du CGDD, Décembre 2010.

Lyons, G. and Swinbank, S. J. (1998), “A case study of the development of car dependence in teenagers”, In : proceedings of the European Transport Conference, “Policy, Planning and Sustainability (Volume II)” Loughborough University, 14th - 18th September 1998, p. 89-101.

MacClain, J. et Pisarski, A. (2012), "Connecting Transportation Investment and the Economy in Metropolitan Washington", George Mason University.

MacFadden, D. (1973), “Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior ” in P. Zarembka (ed.), Frontiers in Econometrics Academic Press, New York 105-142.

MacFadden, D., (1981), “Econometric Models of Probabilistic Choice” in Manski and Mc Fadden (eds.), “Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications”, MIT Press, Cambridge, MA.

MacFadden, D.L. (1989), “A method of simulated moments for estimation of discrete response models without numerical integration”, Econometrica, 57, p. 995-1026.

MacMullen, B.S. et Eckstein, N. (2011), « The relationship between VMT and economic activity », Oregon Transportation Research and Education Consortium.

Madre, J-L. (1989), « Anticipations des ménages et achats d’automobiles », Rapports du CREDOC 64.

Madre, J.L. et Pirotte, A. (1992), “Régionalisation à long terme des projections de trafic”, Rapport INRETS-SETRA.

- Madre, J-L., Armoogum, J. et Bussière, Y. (1996)**, « Vers la saturation ? Une approche démographique de l'équipement des ménages en automobile dans trois régions urbaines », in *Population*, 51eme année, n°4-5, p. 955-977.
- Madre J.L. et Maffre J. (1997)**, « La mobilité des résidents Français : panorama général et évolution », *Recherche Transports Sécurité* n°56.
- Madre, J.-L., Armoogum, J. (1998)**, "Weighthing or imputations? The example of non-responses for daily trips in the French NPTS", *Journal of Transportation and Statistics*, vol. 1, n° 3, p. 51-63 (Bureau of Transportation Statistics), Washington.
- Madre, J-L. Berri, A. and Papon, F. (2002)**, "Can a decoupling of Traffic and Economic growth be envisaged ?", in *Social Change and Sustainable Transport*, chapter 26.
- Madre J-L. and Gardes F. (2005)**, "Why long-term elasticities differ from cross-sectional elasticities ?", *European Transport Conference proceedings*, 2005.
- Madre, J-L., Collet, R., Villareal, I.T and Bussière, Y. (2013)**, "Are we heading towards a reversal for the trend towards ever-greater mobility ?", *Discussion Paper 2012 (16)*, OECD/ITF Roundtable on Long-run Trends in Travel Demand.
- Madre, J-L., Hubert, J-P. et Pistre, P. (2015)**, « Peut-on tirer des informations conjoncturelles du recensement rénové de la population à partir des EAR ? L'exemple de la motorisation des ménages et des mobilités domicile-travail dans les communes de moins de 10 000 habitants », communication aux Journées de Méthodologie Statistique.
- Maley, Donnie and Rachel Weinberger (2009)**, "Does Gas Price Fuel increase Transit Ridership?", *Panorama*, University of Pennsylvania.
- Mannering, F. and Winston, C. (1985)**, "A dynamic empirical analysis of household vehicle ownership and utilization", *The Rand Journal of Economics*, Vol 16, n°2, pp. 215-236.
- Manski, C.F. (1987)**, "Semi-parametric analysis of random effects linear models from binary panel data", *Econometrica*, 55, 357-362.
- Marchetti. C. (1994)**, "Anthropological Invariants in Travel Behavior", *Technological Forecasting and Social Change* 47 (1), p. 75-88.
- Marx, K. et Engels, F. (1848)**, "Manifeste du parti communiste", Londres.
- Masten, S., Foss, R.D. and Marshall, S.W. (2011)**, "Graduated Driver Licensing and Fatal Crashes Involving 16-to 19-Year-Old Drivers", *Journal of the American Medical Association*, 306 (10) : 1098-1103.
- Matas, A., & Raymond, J. (2008)**, "Changes in the structure of car ownership in Spain", *Transportation Research Part A*, 42, 187–202.

Mathon, S. et Palmier, P. (2012), « Vélo et politique globale de mobilité durable : comment estimer le potentiel cyclable d'un territoire ? Une application sur l'agglomération lilloise », rapport PREDIT GO n°3, « Mobilités dans les régions urbaines – Transports, territoires et individus ».

Matyas, L., Laszlo et Sevestre, P. (1992), "The econometrics of panel data – Fundamentals and recent developments in theory and practice", Matyas, Laszlo, Sevestre (eds.).

Meissonnier, J. (2015), "Le processus de relogement dans ses dimensions socio-spatiales: vers une reconfiguration des routines de mobilité ?", in « Mobilité en Transitions – connaître, comprendre et représenter », ouvrage collectif CEREMA-IFSTTAR, Collection « Rapports de recherche et rapports techniques ».

Metz (2010), "Saturation of demand for daily travel", Transport Reviews, n° 659.

Metz (2013), "Peak car and beyond: the Fourth Era of Travel", Transport Reviews, Special Issue n°1 on "Peak car".

Millard-Ball, A., Schipper, L. (2010), "Are we reaching peak travel ? Trends in Passenger Transport in Eight Industrialized Countries", Transport Reviews, 31, p. 357-378.

Ministère de l'Intérieur, Direction de la Modernisation et de l'Action territoriale, Sous-Direction de la Circulation et de la Sécurité Routières (2011), *Bilan du permis à points*.

Mitchell, B. A. (2006), "The boomerang age from childhood to adulthood: Emergent trends and issues for aging families", Canadian Studies in Population, 33 (2), 155–178.

Mokhtarian, P.L. (2003), "Telecommunications and travel. The case for complementarity", Journal of Industrial Ecology 6 (2), p. 43–57.

Mundlak, Y. (1978), « On the pooling of time-series and cross-section data », Econometrica, n° 46, p. 69-85.

Mutuelle d'Assurance des Instituteurs de France - MAIF (2009), "Usages et attitudes des utilisateurs du site Internet Covoiturage.fr", étude MAIF réalisée en Décembre 2009 en partenariat avec Covoiturage.fr.

National Surface Transportation Policy and Revenue Study Commission (2008), "Transportation for Tomorrow".

Nerlove, M. (1971), "Further evidence on the estimation of dynamic economic relations from a time-series of cross-sections", Econometrica, 39, 359-382.

Newey, W.K. (1994), "Automatic lag selection in covariance matrix estimation", Review of Economic Studies 61, 631-653.

Newman, P.W.G and Kenworthy, J.R. (1989), "Cities and automobile dependence. An international sourcebook", Gower Technical, Sydney.

Newman, P. and Kenworthy, J. (2015), "The end of automobile dependence – How cities are moving beyond car-based planning", Island Press, USA, 392 p.

Neyman, J. and Scott, E.L. (1948), "Consistent estimates based on partially consistent observations", *Econometrica*, 16, 1-32.

Nguyen, Than Tu. (2013), "Mise au point d'une méthode de collecte de données de mobilité en utilisant des récepteurs GPS qui soit comparable avec les enquêtes classiques et applicable dans les pays du Sud", Thèse de doctorat en Economie.

Nguyen Nguyen, T. (2014), « Articulation temporelle des mobilités individuelles et impact CO2 dans les différents espaces résidentiels en France (des citoyens vertueux, mais uniquement en semaine ?) », thèse de doctorat en sciences économiques.

Nicolas, J.-P., Verry, D. & Vanco, F. (2012), « Utiliser la voiture pour se déplacer au quotidien : taux d'effort et vulnérabilité des ménages face à l'augmentation du prix des carburants », *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 1, 5 – 30.

Nijman, T. and Verbeek, M. (1992), "Can cohort data be treated as genuine panel data ?", in : R. Baltagi, *Panel data analysis* (Physica-Verlag, Heidelberg).

Noble, B. (2005), "Why are some young people choosing not to drive ?", proceedings of the European Transport Conference, Strasbourg.

Nolan, A. (2010), "A dynamic analysis of household car ownership", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(6), 446–455.

OECD/ITF (2011), "Peak car travel in advanced economies ?", in "Transport Outlook: Meeting the Needs of 9 Billion People", International Transport Forum, Paris.

OMNIL (2012), "La mobilité en Ile-de-France : synthèse des principaux résultats de l'EGT 2010", Septembre 2012.

Orfeuil J.P. (1999), « La mobilité : analyses, représentations, controverses », Thèse d'habilitation, Institut d'Urbanisme de Paris.

Osenton, T. (2004), « The death of demand: Finding growth in a saturated global economy », Financial times Prentice Hall books.

Papon F. (1997), « Les modes oubliés: marche, bicyclette, cyclomoteur, motocyclette », *Recherche Transport Sécurité*, n 56, p. 61-76.

Papon, F. et Madre, J-L. (2003), « Existe-t-il des seuils de saturation de la mobilité des personnes ? », *Réalités Industrielles, une série des Annales des Mines*, éditions ESKA.

Papon, F. et Hivert, L. (2008), « Adulterous behavior within the car-owner couple: some analyses from French panel data on car rental and car sharing within households », *IATSS Research*, 32(2), 6–15.

Papon, F., Armoogum, J., Diana M., (2008), "Specific experimental trials versus large-scale mobility surveys insets to investigate transport-related behavioural issues : the case of the primary utility of travel", ISCTSC Conference, Annecy, May.

Papon F. & De Solère R. (2010), « Les modes actifs: marche et vélo de retour en ville », *La revue du CGDD*, p. 65-82.

Papon F., Marchal M., Roux S., Marchal P. & Armoogum J. (2010), « *Parcours individuels et histoire de la mobilité : analyse du volet « biographie de l'Enquête Nationale sur les Transports et les Déplacements 2007-08* », Rapport pour le PREDIT, 205p.

Parry, I.W. and Small, K.A. (2005), "Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax?", *American Economic Review* 95 (4) : 1276 - 1276.

Paulo C. (2006), « Inégalités de mobilités : disparités des revenus, hétérogénéité des effets », Christelle PAULO, thèse de doctorat de sciences économiques.

Pendyala, R., Kostyniuk, L. and Goulias, K. (1995), "A repeated cross-sectional evaluation of car ownership", *Transportation*, 22, 2, p. 165-184.

Pirotte, A. (2012), "Econométrie des données de panel – Théorie et applications", Economica, Paris.

Pirotte, A. et Madre, J-L. (2013), « Déterminants du trafic des véhicules légers et élasticités : une approche spatiale sur données régionales françaises », *Economie et Statistique*, n°457-458, p. 141-160.

Pochet, P. et Schéou, B. (2002), « Le tourisme à l'âge de la retraite », Conseil National Du Tourisme, La Documentation Française, Paris.

Pochet P. (2003), « Mobilité et accès à la voiture chez les personnes âgées: évolutions actuelles et enjeux », *Recherche Transports Sécurité* n° 79-80.

Pozdena, R. (2009), "Driving the economy: Automotive travel, economic growth and the risks of global warming regulations", QuantEcon, INC, pour l'Institut Cascade Policy.

Preusser, D. F., & Tison, J. (2007), « GDL then and now", *Journal of Safety Research*, 38 , 159–163.

Puentes, R. and Tomer, A. (2008), "The Road...Less Traveled: An Analysis of Vehicle Miles Traveled Trends in the U.S", *Metropolitan Infrastructure Initiative Series*, Brookings.

Puentes, R. (2013), "Have Americans hit peak travel ? A discussion of the changes in US driving habits", Discussion paper n°2012-14, prepared for the roundtable n°152 on Long-run trends in travel demand.

Quetelard, B. (2010), « Se rendre au travail ou faire ses courses motive toujours un déplacement quotidien sur deux. Le recours à la voiture se stabilise », in « La mobilité des Français – Panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements 2008 », *Revue du CGDD*, Décembre 2010.

Quetelard, B. (2011), "Une rupture dans l'évolution de la mobilité urbaine: Les enseignements des dernières EMD", CETE Nord-Picardie, 2009.

Quetelard, B. (2012), « Une stabilisation de la mobilité individuelle », in « La mobilité urbaine en France – Enseignements des années 2000-2010 », Collection Références, CERTU.

Raimond, T. and Milthorpe, F. (2010), “Why are young people driving less ? Trends in license-holding and travel behavior”, proceedings of the Australasian Transport Research Forum, Canberra, Australia.

Redmond, L. and Mokhtarian, P. (2001), “The Positive Utility of the Commute : Modeling Ideal Commute Time and Relative Desired Commute Amount”, *Transportation*, 28(2), 179-205.

Rentziou, Aikaterini, Konstantina Gkritza and Reginald Souleyrette (2012), "VMT, Energy Consumption, and GHG Emissions Forecasting for Passenger Transportation", *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 46 (3) : 487 - 500.

Ricroch L. et Roumier, B. (2011), "Depuis 11 ans, moins de tâches ménagères et plus d'Internet", *INSEE Première* n°1377.

Robin M. (2010), « La motorisation des ménages continue de s’accroître au prix d’un vieillissement du parc automobile », in « La mobilité des français – panorama issu de l’enquête nationale transports et déplacements 2008 », *Revue du CGDD*.

Rocci, A. (2007), « De l’automobilité à la multimodalité ? Analyse sociologique des freins et leviers aux changements de comportements vers une réduction de l’usage de la voiture. Le cas de la région parisienne et perspectives internationales », thèse de doctorat en sciences humaines et sociales, Université de Paris 5 René Descartes Sorbonne.

Rogers, E. (2003), « Diffusion of innovations », 5th edition, Simon and Schuster.

Romilly, P., H. Song and X. Liu (1998), “Modelling and forecasting car ownership in Britain : a cointegration and general-to-specific approach”, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 32, N° 2, p. 165-185.

Ross Silcock Limited and Social Research Associates, Association of British Insurers, Foundation for Road Safety Research (1999), “Unlicensed driving : a scoping study to identify potential areas for further research”.

Rosenbloom, S. and Burns, E. (1993), “Gender differences in commuter travel in Tucson: implications for travel demand management programs”, *Transportation Research Record*, 1404, 82-90.

Rougerie, C. et Friggitt, J. (2010), « Prix des logements anciens – Dans les années 2000, ils ont augmenté beaucoup plus vite que les loyers et les revenus », *INSEE Première*, 1297.

Roux, S. (2012), « Transition de la motorisation en France au XXème siècle », thèse de doctorat en géographie-démographie soutenue à Paris 1.

Ruud, A. et Nordbakke, S. (2005), “Decreasing driving license rates among young people – consequences for local public transport”, *Proceedings of the European Transport Conference*, Strasbourg.

Ryan, L., Ferreira, S. et Convery, F. (2009), "The impact of fiscal and other measures on new passenger car sales and CO2 emissions intensity: Evidence from Europe", *Energy Economics* 31 (3): 365-374.

Sanchez-Gonzalez, J. (2014), « Depuis 2008, la consommation automobile pâtit de la crise économique », INSEE Première n°1520.

Sauvant, A. et Rouchaud, D. (2003), « Volume et partage modal du transport de voyageurs en France de 1845 à nos jours », notes de synthèse du SES n°148.

Schafer, A. et Victor, D. (2000), "The future mobility of the world's population", Transportation Research A, 34, pp. 171-205.

Seguin, S., Fouin, L., Le Gal, Y., Tisserand, B., Godineau, D. et Ranty, A. (2010), "Les déplacements à Nantes Métropole: la pôle position de la voiture contestée", in "La mobilité des Français – panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements", Revue du CGDD, Décembre 2010.

Senserrick, T. (2009), "Australian graduated driver licensing systems", Journal of the Australasian College of Road Safety, 20 (1), 20–28.

Settersten, R. A. J., & Ray, B. (2010), "What's going on with young people today ? The long and twisting path to adulthood. The Future of Children: Transition to Adulthood", 20 (1), 19–41.

Sevestre, P. (2002), "Econométrie des données de panel", Collection Eco Sup, Dunod, Paris.

Simmel, G. (1988), "Philosophie de la modernité 1: la femme, la ville, l'individualisme", Payot.

Sivak M, and Schoettle B. (2012), "Recent changes in the age composition of drivers in 15 countries", Traffic Injury Prevention, 13, pp. 126-132.

SMTC (2010), « Enquête ménages déplacements 2010 – Agglomération grenobloise », Communauté d'Agglomération Grenoble-Alpes-Métropole.

Sorrell, S. (2007), « The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency », a report produced by the Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment Function of the UK Energy Research Centre.

Stead, D. and S. Marshall (2001), "The Relationships between Urban Form and Travel Patterns. An International Review and Evaluation", European Journal of Transportation and Infrastructure Research 1 (2) : 113-141.

Steg, L. (2005), "Car use: Lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use", Transportation Research Part A, 39, 147–162.

Sterner, T. (1990), "The Pricing of and Demand for Gasoline", Swedish Transport Research Board, TFB-Report n° 9.

Sterner, T., Dahl, C. et Franzen, M. (1992), "Gasoline Tax Policy, Carbon Emissions and the Global Environment", Journal of Transport Economics and Policy 26 (2) : 109 - 119.

Stokes, G. (2012), « Has car use per person peaked ? Age, gender and car use », presentation to Transport Statistics Users group, London.

STIF (2012), "Les nouvelles mobilités des Franciliens – La marche, le vélo et les transports en commun en forte progression, alors que l'utilisation de la voiture stagne", Communiqué de presse.

Stroud, A.H. and Secrest, D. (1966), « Gaussian Quadrature Formulas », Prentice Hall, Englewood.

Swamy, P.A.V.B. and Arora, S.S. (1972), « The exact finite sample properties of the estimators of coefficients in the error component model », *Econometrica*, 40, 261-275.

Sweeney, J. (1978), "The demand in the United States: a vintage capital model", in *Workshops on Energy Supply and Demand*, International Energy Agency, Paris, 240-277.

Taylor, P., Parker, K., Kochhar, R., Fry, R., Funk, C., Patten, E., & Motel, S. (2012), "Young, underemployed and optimistic : coming of age, slowly, in a tough economy", Washington, DC : Pew Research Center.

Theil, H. (1969), « A Multinomial extension of the linear logit model », *International Economic Review*, 10, 251-259.

Tisseo (2013), « Les déplacements dans la grande agglomération toulousaine – Principaux résultats de l'enquête ménages déplacements et de l'enquête cordon routière ».

TNS – Sofres, Chronos (2010), « Etude "Auto-mobilité" : La voiture dans le marché unique des déplacements ».

Tobin, J. (1958), « Estimation of Relationships for limited dependent variables », *Econometrica*, 26, 24-36.

Trognon, A. (2003), « L'économétrie des panels en perspective », *Revue d'Economie Politique*, 113, 727-748.

Tulpule, A.H. (1973), « Forecasts of vehicles and traffic in Great Britain 1972 revision », Report LR543, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Vanco, F. (2012), "L'accès à la ville : vers une contrainte financière de plus en plus forte ?", in « La mobilité urbaine des années 2000 », éditions CERTU.

Van Den Berg, P., Arentze, Th. And Timmermans, H. (2009), "Size and composition of ego-centred social networks and their effect on geographic distance and contact frequency", *Transportation Research Record : Journal of The Transportation Research Board*, 2135, p 1-9.

Van de Coevering, P. and T. Schwanen (2006), "Re-evaluating the impact of urban form on travel patterns in Europe and North America", *Transport Policy* 13 (3): 229-239.

Van Den Waard, J., Jorritsma, P. and Immers, B. (2013), "New Drivers in Mobility: What moves the Dutch in 2012 and beyond ?", *Transport Reviews*, Special Issue n°1 on "Peak car".

Veldkamp (2012), "Mobiliteit van jongeren: vrijheid boven alles ? De resultaten van kwalitatief onderzoek", Amsterdam : Veldkamp.

Verbeek, M. (2012), "A guide to modern econometrics", 4th Edition, Wiley.

Vignal, C. (2005), "Logiques professionnelles et logiques familiales : une articulation contrainte par la délocalisation de l'emploi », *Sociologie du Travail*, n° 47.

Vincent, S., Viry, G. et Kaufmann, V. (2010), « Carrières académiques : comment concilier mobilités spatiales et vie de famille ? », *Synergies Pays Riverains de la Baltique*, n°7, p. 77-94.

Wachs, M. (1987), "Men, women and wheels: the historical basis of sex differences in travel patterns", *Transportation Research Record*, 1135, 10-16.

Walker, I.O. and Wirl, F. (1993), "Irreversible price-induced efficiency improvements: theory and empirical application to road transportation", *The Energy Journal* 14 (4), 183-205.

Wallace, T.D. and Hussain, A. (1969), "The use of error component models in combining time-series with cross-section data", *Econometrica*, 37, 55-72.

Webster, F. V. and P. H. Bly (1981), "The demand for public transport", *Transport Reviews* 1 (4) : 323-351.

Weinberger, R., Seaman, M. and Johnson, C. (2009), "Residential Off-Street Parking Impacts on Car Ownership, Vehicle Miles Traveled, and Related Carbon Emissions", *Transportation Research Record* 2118 : 24-30.

Weltevreden, J. W. J., & Rotem-Mindali, O. (2009), "Mobility effects of b2c and c2c e-commerce in the Netherlands : A quantitative assessment", *Journal of Transport Geography*, 17 (2), 83 – 92.

Wiel, M. (1999), "La Transition urbaine ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée", Editions Mardaga, 1999.

Williams, A. F. (2011), "Teenagers' licensing decisions and their views of licensing policies : A national survey", *Traffic Injury Prevention*, 12 (4), 312–319.

Wooldridge, J.M. (1995), "Selection corrections for panel data models under conditional mean independence assumptions", *Journal of Econometrics*, 68, 115-132.

Wooldridge, J-M. (2001), "Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data", The MIT Press, Cambridge, Massachussets.

Zahavi, Y. (1974), « Traveltime Budgets and Mobility in Urban Areas », US Department of Transportation, Washington.

ANNEXES

ANNEXE 1

UN EXEMPLE EXTREME D'ENDOGENEITE : MARCHÉ RATIONNE

On considère un marché dans lequel la quantité de biens produite est inélastique, en raison de contraintes de production. Ce type de situations peut s'appliquer par exemple à des matières premières, pour lesquelles les capacités de production seraient limitées par la disponibilité des ressources naturelles. Supposons par exemple que la quantité d'or Q mise à disposition sur le marché chaque année soit constante. On suppose en outre que chaque année, les individus consacrent la même proportion de leurs revenus α à des achats d'or. Si R_t est le revenu total de la population à l'instant t , la ressource financière mobilisée sur le marché de l'or est donc αR_t . La quantité d'or étant inélastique, le prix de l'or à chaque instant est le rapport entre la ressource financière mobilisée et la quantité d'or mise à disposition sur le marché, soit :

$$P_t = \frac{\alpha R_t}{Q}$$

Dans ce marché rationné, dès lors que le revenu distribué augmente, le prix de l'or augmente proportionnellement au revenu, ce qui tend à annuler les effets de la progression de pouvoir d'achat des individus sur la quantité d'or que ces derniers peuvent se procurer. En effet, supposons une distribution des revenus R_{it} au sein de la population à chaque instant, avec :

$$\sum_{i=1}^N R_{it} = R_t$$

A chaque instant, la quantité d'or que peut se procurer l'individu i est déterminée par le rapport entre la ressource financière qu'il est capable de mobiliser sur le marché et le prix de l'or, soit :

$$Q_{it} = \frac{\alpha R_{it}}{\frac{\alpha R_t}{Q}} = Q \frac{R_{it}}{R_t} = Q \frac{R_{it}}{\sum_{i=1}^N R_{it}}$$

La quantité d'or qu'il peut se procurer dépend donc uniquement de la « *part de gâteau* » dont il dispose dans le revenu total distribué. Les plus riches pourront acheter plus d'or que les plus pauvres. Si la progression du revenu est homogène, c'est-à-dire identique pour tous les individus, par exemple :

$$R_{it+1} = (1 + \beta) R_{it}$$

Dans ce cas, la distribution des revenus au sein de la population demeure inchangée, de sorte que la quantité d'or que peut se procurer chaque individu demeure constante :

$$Q_{it+1} = Q_{it}$$

Dans ce cas, l'élévation générale des revenus n'a aucun effet sur la richesse réelle des individus, car la quantité de biens accessible demeure inchangée. Une manière alternative de voir les choses est de considérer que le prix constitue une interface entre le revenu distribué et la quantité de biens produite, annulant l'effet du revenu sur la quantité de biens que les individus peuvent se procurer. En effet, on peut écrire :

$$Q_{it} = \frac{\alpha R_{it}}{P_t} \Leftrightarrow \log Q_{it} = \log \alpha + \log R_{it} - \log P_t$$

Supposons qu'un observateur extérieur, venu de la planète Mars par exemple, souhaite modéliser la quantité d'or que peuvent se procurer les individus, et qu'il ignore que la quantité d'or pouvant être produite est limitée. Pour lui, l'or et les autres matières premières sont semblables à des produits industriels, susceptibles de s'adapter à la demande du marché. Il ignore donc le prix et suppose que la quantité d'or produite est une fonction croissante du revenu, et cherche à en déterminer l'élasticité. Il spécifie donc le modèle suivant :

$$\log Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 \log R_{it}$$

Il commence par effectuer une estimation transversale. Etant donné que :

$$\log Q_{it} = \log Q + \log R_{it} - \log R_t, \text{ il trouvera que :}$$

$$\eta_{Q/R}^B = 1$$

De fait, l'hétérogénéité des quantités d'or achetées à un instant donné reflète exactement l'hétérogénéité des revenus, la quantité d'or consommée étant proportionnelle à la part de chaque individu dans le revenu total.

Si maintenant il effectue une estimation longitudinale, il trouvera qu'en dépit de la progression générale des revenus, les quantités d'or consommées n'ont pas augmenté, et par conséquent que l'estimation longitudinale de l'effet de revenu est nulle :

$$\eta_{Q/R}^W = 0$$

Dans cet exemple, l'écart entre estimations transversale et longitudinale des élasticités peut être expliqué par l'omission d'une variable importante, le prix. En effet, le prix est positivement corrélé avec le revenu – il est même proportionnel au revenu total distribué – et exerce en même temps une influence sur la quantité d'or consommée (*cf. relation ci-dessus*), si on considère que les individus sont des agents rationnels réagissant aux variations exogènes de revenus et de prix de manière à maintenir leur taux d'effort inchangé. Toutefois, le fait de considérer le prix comme exogène ne vaut que si on raisonne au niveau micro-économique de l'individu, en ignorant les contraintes macroéconomiques. D'un point de vue macroéconomique, en revanche, le prix exprime le rapport entre le revenu total distribué et la quantité d'or mise sur le marché, et n'est donc pas indépendant de celle-ci.

Il s'agit donc d'un problème d'endogénéité, toutefois inverse de celui classiquement envisagé par *Mundlak (1978)*, dans lequel il existe des effets individuels corrélés avec les variables explicatives. Ici, la variable omise équivaut à l'inverse à l'existence d'effets de période – le revenu total distribué évoluant au cours du temps – corrélés avec les variables explicatives (les revenus distribués à chaque instant étant corrélés avec le revenu total distribué).

Si maintenant, l'observateur intègre le prix dans son modèle :

$$\log Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 \log R_{it} - \beta_2 \log P_t$$

Le prix disparaît des estimations transversales, puisqu'il est le même pour tous les individus. Il obtient donc toujours une estimation transversale de l'élasticité-revenu égale à 1. Pour l'estimation longitudinale, en constatant que les quantités d'or achetées demeurent inchangées, il en déduira que :

$$\beta_1 \log \frac{R_{it+1}}{R_{it}} = \beta_2 \log \frac{P_{t+1}}{P_t} = \beta_2 \log \frac{R_{t+1}}{R_t}$$

Soit $\beta_1(1 + \beta) = \beta_2(1 + \beta) \Leftrightarrow \beta_1 = \beta_2$

Il en déduira donc que l'élasticité-prix est de même grandeur que l'élasticité-revenu et de signe opposé, sans toutefois pouvoir en déterminer la valeur. Celle-ci étant indéterminée, il peut choisir de prendre comme estimation longitudinale de l'élasticité-revenu la même valeur que l'estimation transversale, et donc de lui donner une valeur égale à 1, dont découle une élasticité-prix de - 1, consistante par rapport aux observations, ce qui résout le problème d'endogénéité, et annule l'écart entre estimations transversales et longitudinales. Ce choix est de plus cohérent avec ce qui se passerait dans le cas d'un bien pouvant être produit de manière industrielle, pour lequel la quantité produite peut être ajustée à l'augmentation de la demande.

En effet, supposons qu'il s'agisse de voitures et non plus d'or, et qu'au lieu d'une quantité Q fixe, la quantité produite augmente avec le revenu mobilisé, soit :

$$Q = K\alpha R$$

Comme précédemment, le prix est déterminé par le rapport entre le revenu total mobilisé et la quantité produite, soit :

$$P_t = \frac{\alpha R_t}{Q_t} = \frac{1}{K}$$

Observons que cette fois, le prix, au lieu d'augmenter avec le revenu total distribué, demeure constant. Chaque individu peut dans ce cas augmenter la quantité de biens qu'il achète sur le marché, dès lors que son revenu augmente. Une politique d'augmentation générale des revenus, par exemple une augmentation de la valeur du point d'indice des fonctionnaires, se traduira dans ce cas par un accroissement de la richesse réelle des individus.

En effet, la quantité de voitures achetées par chaque individu est cette fois-ci déterminée par :

$$Q_{it} = \frac{\alpha R_{it}}{\frac{1}{K}} = K\alpha R_{it}$$

Supposons maintenant que le même observateur modélise la quantité de voitures achetées par les ménages comme une fonction croissante de leur revenu, soit comme précédemment :

$$\log Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 \log R_{it}$$

Il trouvera cette fois-ci, tant dans la dimension transversale que longitudinale, une élasticité égale à 1. Par conséquent, le problème d'endogénéité disparaît. En effet, dans ce cas, le prix, tout en demeurant non-observé, n'exerce plus d'influence sur les quantités achetées, car il demeure constant. Dans cet exemple, on voit que le problème d'endogénéité du prix par rapport à la

demande est créé par la rareté dans le cas d'un bien rationné, mais disparaît dans le cas d'un bien pouvant être produit de manière industrielle, sauf si les producteurs ont un intérêt économique à créer artificiellement une situation de rareté de manière à maximiser leur profit au détriment du consommateur.

Revenons au premier cas du marché de l'or rationné, et considérons le cas où la progression du revenu, au lieu d'être homogène comme précédemment, est hétérogène, par exemple le cas où elle est plus élevée pour les individus déjà les plus riches en début de période. Dans ce cas, la proportion du revenu total dont disposent les plus riches augmente, au détriment de celle dont disposent les plus pauvres, et par conséquent la proportion de la quantité d'or totale qu'ils sont susceptibles d'acheter évolue de même. La quantité totale d'or achetée demeurant inchangée, les quantités achetées individuellement augmentent pour les plus riches et diminuent pour les plus pauvres. La répartition de la richesse réelle se modifie donc au profit des plus riches. Dans ce cas, les augmentations de revenus plus importantes que la moyenne génèrent une augmentation de richesse réelle, mais les augmentations de revenus plus faibles que la moyenne correspondent au contraire à un appauvrissement en termes de richesse réelle.

Supposons à nouveau qu'on effectue une estimation transversale de l'effet du revenu, dans un modèle où l'influence des prix n'est pas prise en compte. Celle-ci demeure égale à 1 puisqu'à chaque instant, la quantité d'or achetée demeure proportionnelle aux revenus dont les individus disposent. L'estimation longitudinale moyenne demeure égale à zéro puisqu'en moyenne, l'augmentation générale des revenus n'entraîne pas d'augmentation de la quantité totale d'or achetée, mais cette moyenne recouvre des évolutions hétérogènes, avec des élasticités longitudinales positives dans le cas d'individus dont le revenu a davantage augmenté que la moyenne, et négatives au contraire pour les individus ayant connu des augmentations de revenus inférieures à la moyenne. L'endogénéité créée par l'absence de prise en compte de l'effet-prix, combinée avec des évolutions hétérogènes, conduit dans ce cas à une hétérogénéité apparente de l'effet de revenu estimé dans la dimension longitudinale. Toutefois, cette hétérogénéité disparaît dès lors que l'effet de revenu est corrigé de l'effet-prix. En effet, l'estimation de l'effet de revenu est biaisée dans la dimension longitudinale, car l'évolution des prix, qui est inobservée, est corrélée avec celles des revenus individuels, qui sont observées. Or, on a :

$$\text{Log} \frac{Q_{it+1}}{Q_{it}} = \text{Log} \frac{R_{it+1}}{R_{it}} - \text{Log} \frac{R_{t+1}}{R_t} = \text{Log} \frac{R_{it+1}}{R_{t+1}} - \text{Log} \frac{R_{it}}{R_t}$$

Autrement dit, la quantité d'or qu'un individu peut se procurer augmente si la proportion du revenu total qu'il parvient à capter augmente – ou de manière équivalente, si son revenu augmente plus vite que le revenu total. Dans le cas contraire, son pouvoir d'achat réel décroît. Il s'agit en fait d'un jeu à somme nulle, dans lequel un agent individuel ne peut être gagnant qu'au détriment des autres.

ANNEXE 2

LE PROBLEME DE SELECTION ENDOGENE

On reprend ici la présentation du problème de sélection endogène dans *Verbeek (2012)*. Supposons qu'on cherche à connaître la distribution conditionnelle d'une variable y_i sachant x_i , $f(y_i|x_i)$. La sélection dans le sous-échantillon utilisé pour l'inférence est représentée par une indicatrice r_i telle que $r_i = 1$ si y_i et x_i sont observées, et $r_i = 0$ sinon. Toutes les inférences ignorant la règle de sélection sont implicitement conditionnelles à $r_i = 1$. Cependant, l'intérêt du modélisateur porte sur la connaissance de la distribution $f(y_i|x_i)$ et non sur la distribution conditionnelle $f(y_i|x_i, r_i = 1)$.

La règle de sélection est dite *ignorable* – c'est-à-dire qu'il n'y a pas de sélection endogène – (*Rubin, 1976 ; Little et Rubin, 1987*) dès lors que le conditionnement sur la sélection est sans effet sur la distribution de la variable dépendante, à savoir :

$f(y_i|x_i, r_i = 1) = f(y_i|x_i)$ ou encore $E(y_i|x_i, r_i = 1) = E(y_i|x_i)$ si on ne s'intéresse qu'à l'espérance de la distribution conditionnelle. De manière équivalente, on peut dire que :

$P(r_i = 1|x_i, y_i) = P(r_i = 1|x_i)$, autrement dit la probabilité de sélection dans le sous-échantillon est indépendante de la réalisation de l'évènement modélisé. Si la règle de sélection n'est pas ignorable, elle doit être prise en compte lors de l'inférence. Comme l'a fait remarquer *Manski (1989)*, un problème fondamental d'identification survient dans ce cas. En effet :

$$E(y_i|x_i) = E(y_i|x_i, r_i = 1)P(r_i = 1) + E(y_i|x_i, r_i = 0)P(r_i = 0)$$

Si x_i est observé indépendamment de r_i , il est possible d'identifier la probabilité de sélection $P(r_i = 1)$ comme une fonction d'un jeu de variables x_{2i} , comprenant tout ou partie des variables x_i , ainsi que des variables additionnelles. Par conséquent, il est possible d'identifier $P(r_i = 1|x_{2i})$ et $P(r_i = 0|x_{2i})$, ainsi que $E(y_i|x_i, r_i = 1)$ grâce à un modèle estimé sur la sélection. Cependant, puisqu'aucune information sur $E(y_i|x_i, r_i = 0)$ ne peut être obtenue à partir des données, il n'est pas possible d'identifier $E(y_i|x_i)$ sans information additionnelle ou sans faire d'hypothèses additionnelles non-testables. En l'absence d'information antérieure à la sélection, le problème de sélection est donc fatal pour l'inférence de $E(y_i|x_i)$.

Pour résoudre le problème de l'inférence, il est donc nécessaire d'imposer des contraintes. On pose :

$E(y_i|x_i) = g_1(x_i)$ et $E(y_i|x_i, r_i = 1) = g_1(x_i) + g_2(x_i)$, ce qui pour l'instant n'est pas restrictif, où $g_1(x_i)$ est la fonction que l'on cherche à identifier. On s'appuie en général sur un modèle de variable latente dans lequel :

$$y_i = g_1(x_i) + \varepsilon_{1i}$$

$$r_i^* = x_{2i}\beta_2 + \varepsilon_{2i}, r_i = 1 \text{ si } r_i^* > 0, r_i = 0 \text{ sinon.}$$

$$\text{Avec } E(\varepsilon_{1i}|x_i) = 0 \text{ et } E(\varepsilon_{2i}|x_i) = 0.$$

Cependant, dans ce modèle, ε_{1i} et ε_{2i} peuvent être corrélés. On peut donc écrire :

$E(y_i|x_i, r_i = 1) = g_1(x_i) + E(\varepsilon_{1i}|x_i, r_i = 1) = g_1(x_i) + E(\varepsilon_{1i}|\varepsilon_{2i} > -x_{2i}\beta_2)$, dans lequel $E(\varepsilon_{1i}|\varepsilon_{2i} > -x_{2i}\beta_2)$ peut être différent de 0.

Dans ce modèle, β_2 peut être identifié à partir du processus de sélection, dès lors que les x_i sont observables indépendamment du résultat de la sélection, de sorte que g_1 peut être identifiée. L'identification de β_2 dépend toutefois de manière cruciale de la disponibilité d'un ou de plusieurs instruments dans l'équation de sélection, c'est-à-dire de variables dans x_{2i} qui ne soient pas incluses dans le modèle principal et qui soient indépendantes de l'erreur ε_{1i} . Il s'agit donc, comme dans la méthode des variables instrumentales, de trouver des variables qui influent sur la sélection mais pas sur le processus modélisé, ce qui implique d'imposer des restrictions sur les coefficients de g_1 .

ANNEXE 3

LES « BONNES » PROPRIETES DES ESTIMATEURS STATISTIQUES

Encadré 14 : Loi de probabilité, densité, fonction de répartition

Une loi de probabilité décrit le comportement d'un phénomène aléatoire mesurable. Plus précisément, le choix d'une loi plutôt que d'une autre correspond à une hypothèse sur la distribution du phénomène modélisé. Dans le cas d'une loi normale, par exemple, on considère que les valeurs de la variable modélisée sont de signe quelconque et se dispersent de manière symétrique autour d'une valeur centrale où la densité des tirages aléatoires est maximale, avec un certain coefficient de dispersion.

Elle peut être définie par sa densité ou sa fonction de répartition. La fonction de répartition mesure la probabilité que la variable modélisée soit inférieure ou égale à une certaine valeur. On a ainsi :

$$F(x) = P(X \leq x)$$

La densité de la loi peut être définie comme la dérivée de la fonction de répartition en un certain point :

$f(x) = \frac{\partial F}{\partial x}(x)$, mesurant la concentration des réalisations du phénomène en un certain point, ou la densité de probabilité en ce point.

On a à l'inverse :

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

Notion d'estimateur

Un estimateur est une statistique permettant d'évaluer un paramètre inconnu à partir de données observables sur un échantillon. Par exemple, dans le cas d'une régression linéaire, on souhaite déterminer les coefficients associés aux variables explicatives du modèle. On suppose que la relation est décrite par la formule suivante, dans laquelle les β_k représentent les « vraies » valeurs des paramètres, sur l'ensemble de la population.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Cependant, on ne dispose que d'un échantillon de la population et les valeurs des paramètres sont inconnues. Les estimateurs sont donc des statistiques calculées à partir de l'échantillon. Pour les différencier de la vraie valeur des paramètres, on les note généralement par $\hat{\beta}$, la vraie valeur des paramètres étant notée β .

La variable Y_i n'est pas prévue avec certitude par le modèle mais se disperse autour d'une tendance moyenne $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k$, pour différentes raisons : facteurs non-observés, erreurs d'échantillonnage, erreurs de mesure, variations des comportements au cours du temps, etc. L'écart de Y_i à $E(Y_i|X_i)$ est représenté par le terme ε_i . Il est donc équivalent de raisonner sur la distribution conditionnelle de $(Y_i|X_i)$ ou sur la distribution de ε_i . Dans le cadre des modèles linéaires, on a fréquemment recours à l'hypothèse de normalité pour la distribution de ε_i . Dans le cadre des modèles de choix discret, on utilise souvent la loi normale, mais aussi la loi logistique.

Les estimateurs possèdent de plus ou moins bonnes propriétés qui permettent de caractériser leur qualité. Parmi les bonnes propriétés d'un estimateur, figurent en particulier la convergence, la consistance, l'efficacité ainsi que la normalité asymptotique.

Consistance et convergence

Un estimateur est une statistique obtenue à partir de l'échantillon, c'est donc également une variable aléatoire, dont la valeur peut fluctuer d'un échantillon à l'autre, caractérisée par une espérance et une variance. La première propriété souhaitable pour un estimateur est que sa moyenne sur différents échantillons permette d'obtenir sa vraie valeur sur l'ensemble de la population. En termes probabilistes, on voudra que l'espérance de l'estimateur soit égale à la vraie valeur du paramètre, soit :

$$E(\hat{\beta}) = \beta$$

On dit alors que l'estimateur est consistant, ou sans biais. En pratique toutefois, il pourra suffire d'avoir une consistance asymptotique, c'est-à-dire que l'estimateur converge en loi vers sa vraie valeur à mesure que la taille de l'échantillon augmente :

$$\text{plim}_{\infty} \hat{\beta}_N = \beta$$

Dans le cas de la convergence en loi, l'estimateur asymptotique est, en plus d'être asymptotiquement sans biais, asymptotiquement de variance nulle.

Précision et efficacité

L'efficacité d'un estimateur est une mesure de sa précision, qui est inverse de sa variance. En plus de souhaiter qu'en moyenne, l'estimateur permette d'obtenir la vraie valeur des paramètres, on peut souhaiter que d'un échantillon à l'autre, les variations de l'estimateur soient aussi faibles que possibles. On est ainsi assurés d'un certain niveau de précision des estimations obtenues. On souhaite donc, en plus de contrôler l'espérance de l'estimateur, diminuer sa variance $V(\hat{\beta})$ - ou sa variance asymptotique - autant que possible.

Pour certaines classes d'estimateurs, on montre qu'il existe une borne inférieure de la variance qui ne peut être franchie, et qui est atteinte dans certains cas. Ces estimateurs sont dit efficaces (ou efficients), c'est-à-dire que ce sont des estimateurs à variance minimale, donc à précision maximale.

\sqrt{N} – convergence et normalité asymptotique

Les propriétés asymptotiques d'un estimateur sont ses propriétés sur un échantillon de grande taille, lorsque $N \rightarrow \infty$. Si la distribution d'un estimateur sur échantillon fini est inconnue, le mieux que l'on puisse faire est d'utiliser ses propriétés asymptotiques. En particulier, lorsque l'échantillon est de grande taille, on peut considérer que la distribution asymptotique de l'estimateur constitue une bonne approximation de sa distribution effective dans l'échantillon. De nombreux estimateurs en économétrie ont une distribution asymptotiquement normale sous des conditions de régularité faibles.

Par distribution asymptotique d'un estimateur consistant $\hat{\beta}$, on entend en fait la distribution-limite de $\sqrt{N}(\hat{\beta} - \beta)$ lorsque $N \rightarrow \infty$. La raison de l'introduction du facteur \sqrt{N} est que dans le cas d'un estimateur consistant, la distribution-limite de $\hat{\beta} - \beta$ est dégénérée, l'ensemble de la masse étant concentrée en 0. Le facteur \sqrt{N} permet de se ramener au cas classique d'une distribution normale non-dégénérée. \sqrt{N} est alors généralement désigné comme le rythme de convergence et on parle de \sqrt{N} -convergence ou de \sqrt{N} -consistance.

La normalité asymptotique permet notamment d'obtenir une estimation de la variance de l'estimateur à partir de sa variance asymptotique, ainsi que des intervalles de confiance. Un autre avantage des propriétés asymptotiques est que la consistance et la normalité asymptotique n'impliquent pas une distribution normale des termes d'erreur du modèle.

ANNEXE 4

LES MODELES SUR DONNEES DE PANEL

La modélisation de l'hétérogénéité sur données de panel

La modélisation sur données empilées présente des limites. En particulier, on y suppose que les perturbations sont indépendamment et identiquement distribuées, ce qui peut paraître trop restrictif. Cette distribution de l'erreur, en effet, ne tient pas compte de la structure panélisée de l'information, à savoir qu'on observe les mêmes individus au cours de périodes successives. Dans les modèles économétriques sur données de panel, on cherche à élargir ce schéma en décrivant plus précisément la forme de l'hétérogénéité non-observée de manière à prendre en compte une structure d'information panélisée. Pour cela, on décompose les perturbations en des facteurs permanents, invariants au cours du temps, et des facteurs variables au cours du temps. Les facteurs permanents sont eux-mêmes souvent représentés sous la forme d'une composante individuelle spécifique α_i , de variance σ_α^2 , et d'une composante locale ou choc idiosyncratique ε_{it} , de variance normalisée égale à 1. L'effet spécifique individuel α_i synthétise l'ensemble des caractéristiques individuelles permanentes qui, bien qu'inobservables, sont susceptibles d'exercer une influence sur la variable dépendante. Le terme ε_{it} regroupe des caractéristiques inobservables spécifiques à l'individu pour cette période, dites « idiosyncratiques », telles que des erreurs de mesure, des fluctuations d'échantillonnage, ou encore des réponses imprécises de la part des personnes enquêtées. Enfin, il peut y avoir des effets spécifiques à une période qui s'appliquent à l'ensemble des individus, par exemple un choc provoqué par une forte hausse des prix des carburants. La présence d'effets spécifiques individuels induit naturellement une auto-corrélation des perturbations, ce qui conduit à relâcher les hypothèses du modèle sur données empilées, dans lequel les perturbations sont supposées indépendantes. Dans le même temps, elles cessent d'être identiquement distribuées, puisque l'espérance des perturbations varie d'un individu à l'autre.

L'introduction d'effets spécifiques individuels présente au moins un double intérêt :

- En permettant de relâcher l'hypothèse d'*homoscédasticité* et d'absence d'auto-corrélation des perturbations, le modèle à effets spécifiques individuels permet de postuler une structure plus générale des perturbations du modèle, et d'estimer les contributions respectives de l'hétérogénéité individuelle inobservée et des variations locales à la variabilité totale, notamment à travers l'estimateur des moindres carrés quasi-généralisés qui est efficace, alors que l'estimateur des moindres carrés ordinaires ne l'est pas. Il offre donc une précision supérieure à celle de l'estimateur des moindres carrés ordinaires ;
- En outre, l'introduction d'effets spécifiques individuels contribue à résoudre un problème soulevé par *Heckman (1981)*, celui de la dépendance d'état, en permettant de dissocier la dépendance d'état de l'hétérogénéité individuelle inobservée, dans le cadre de modèles dynamiques. Les modèles dynamiques, en effet, postulent que la variable dépendante à l'instant t dépend de sa réalisation à l'instant $t-1$, voire de l'ensemble de ses réalisations antérieures. Cette affirmation est intuitivement compréhensible : si on considère par

exemple la probabilité de motorisation d'un individu à l'instant t , il est évident que celle-ci est corrélée avec son état de motorisation en $t-1$. L'individu ne réévalue pas à chaque instant l'opportunité de continuer à être motorisé, mais seulement à l'occasion de changements substantiels dans sa vie (séparation, perte d'emploi, retraite, déménagement...). La dépendance d'état traduit aussi le poids des habitudes dans les comportements, mais également des effets liés à l'expérience tels que des effets d'addiction, par exemple (Collet, 2008 ; Collet et al., 2010). Elle résulte également du fait que les adaptations des comportements à des modifications des facteurs explicatifs ne sont pas instantanées, mais peuvent avoir un caractère progressif. Toutefois, dans le cadre de modèles dynamiques, Heckman (1981) montre que la dépendance d'état peut être confondue avec l'hétérogénéité individuelle inobservable, qu'il appelle « *dépendance d'état fallacieuse* (« *spurious state dependence* ») », du fait que l'auto-corrélation des observations à travers le temps résulte en partie des caractéristiques permanentes inobservables des individus.

La spécification des effets individuels peut en général prendre deux formes : celle d'effets fixes ou d'effets aléatoires. La problématique du choix entre effets fixes et aléatoires diffère partiellement dans le cas d'un modèle discret et dans le cas d'un modèle linéaire. Toutefois, certains arguments permettant de choisir entre effets fixes et effets aléatoires sont analogues.

En toute généralité :

- Le modèle dit à effets aléatoires ou à erreurs composées, représente les effets spécifiques individuels sous la forme d'une perturbation suivant une certaine loi de distribution – généralement normale ou logistique – d'espérance nulle et dont le paramètre de variance doit être ajusté à partir des données. Dans ce cas, on ne cherche pas à estimer les effets individuels mais seulement à en ajuster au mieux la distribution par rapport aux données dans le cadre d'une forme de loi postulée *a priori*. L'appellation « erreurs composées » se justifie par la décomposition du terme d'erreur entre une composante individuelle permanente – l'effet spécifique individuel – et une composante spécifique à l'individu et à la période, dite de « choc idiosyncratique ». Cette formulation du modèle implique des hypothèses restrictives sur la distribution des effets individuels, généralement l'absence de corrélation avec les variables explicatives du modèle. Cette hypothèse peut parfois apparaître trop restrictive : dans le cas où les effets individuels sont corrélés avec certaines des variables explicatives du modèle, l'estimation des paramètres du modèle est susceptible d'être biaisée. Elle présente l'avantage, en contrepartie, de produire des estimations plus précises des paramètres que le modèle à effets fixes, compte tenu d'un moins grand nombre de paramètres à estimer ;
- A l'inverse, dans le modèle dit à « effets fixes », on cherche à estimer les effets individuels en utilisant l'information sur les résidus du modèle. Les effets individuels sont donc représentés, non plus comme des perturbations aléatoires, mais comme des paramètres du modèle. Comme pour le modèle à erreurs composées, l'hétérogénéité est introduite au niveau de la constante. Cependant, contrairement au modèle à erreurs composées, le modèle à effets fixes n'impose pas de restrictions sur la distribution des effets individuels,

en les autorisant à être corrélés avec les variables explicatives. Sa formulation apparaît donc plus souple que celle du modèle à erreurs composées. Lorsque T (le nombre de périodes d'observation) est fini – ce qui est le cas des données de panel dans la pratique – son estimation se heurte toutefois au problème des paramètres incidents (*Neyman et Scott, 1948*). En effet, les effets individuels sont alors autant de paramètres à estimer et leur nombre augmente avec la taille de l'échantillon, entraînant une diminution de la précision des estimateurs. De plus, dans le cas des modèles de choix discret, le problème des paramètres incidents peut aboutir à des estimations inconsistantes des paramètres d'intérêt du modèle, car il existe une corrélation entre le vecteur des paramètres d'intérêt et celui des effets individuels en raison de la non-linéarité des modèles de choix discret (*Chamberlain, 1980, 1984*).

Les principaux avantages des données de panel résident donc dans la possibilité de mieux contrôler l'hétérogénéité non-observée, qui constitue souvent une source de difficultés importantes dans les analyses transversales, en étant génératrice d'endogénéité, et d'introduire de la flexibilité dans la description des comportements individuels. Il existe cependant d'autres manières de décrire l'hétérogénéité individuelle, qui sont rapportées par *Pirotte (2012)* :

- Le modèle à *coefficients aléatoires*, dans lequel l'hétérogénéité est introduite au niveau des coefficients des variables explicatives, qui sont décrits sous la forme de variables aléatoires. Dans ce cas, on n'estime plus seulement l'espérance des paramètres du modèle mais leurs distributions. Les paramètres individuels sont alors générés par tirage dans cette distribution dont on suppose la loi connue *a priori*. On suppose donc que les individus réagissent de manière hétérogène aux mêmes facteurs ;
- Le modèle à *coefficients composés*, dans lequel l'hétérogénéité est également introduite au niveau des coefficients des variables explicatives, mais où ces derniers sont décrits sous la forme de constantes spécifiques à chaque individu, qui représentent alors autant de paramètres à estimer. L'inconvénient majeur de cette spécification est le très grand nombre de paramètres à estimer, qui rend les estimations très imprécises.

Les modèles linéaires sur données de panel

La forme générale du modèle linéaire sur données de panel à erreurs composées est la suivante :

$$y_{it} = \beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i + u_{it} = \beta X_{it} + \delta Z_i + \varepsilon_{it}$$

Dans lequel X_{it} sont des variables variant dans les dimensions temporelle et individuelle, Z_i des variables variant uniquement d'un individu à l'autre mais constantes à travers le temps. Dans ce modèle, $\alpha_i + u_{it}$ représente une décomposition des perturbations du modèle entre une composante individuelle permanente α_i et une perturbation locale u_{it} , supposée homoscédastique et non-auto-corrélée, de variance normalisée égale à 1. Les perturbations sont supposées indépendantes entre elles et la perturbation locale u_{it} au moins est supposée indépendante des variables explicatives.

Le modèle linéaire à effets fixes

Dans le cas du modèle linéaire à effets fixes, on estime les paramètres grâce à l'estimateur *within*, qui permet d'éliminer les effets individuels de la fonction de vraisemblance par une réécriture du modèle en écarts aux moyennes individuelles ou en différences premières. L'estimateur obtenu est asymptotiquement consistant et efficace lorsque N tend vers l'infini et T fini, et constitue le meilleur estimateur linéaire sans biais du modèle à effets fixes. On montre (cf. *Pirotte, 2012*) qu'il est possible de construire des estimateurs sans biais des paramètres α_i , en utilisant le théorème de *Frisch-Waugh-Lowell*. Cette spécification est donc à privilégier si on souhaite connaître précisément les effets individuels, par exemple dans le cas de l'étude de séries de trafic ou de consommations de carburant régionales (*Madre et Pirotte, 1992 ; Pirotte et Madre, 2013*). Les estimateurs des effets fixes peuvent être utilisés pour classer les individus par groupes homogènes (par ex. *Pirotte et Madre, 1992*). Cependant, la dimension temporelle étant généralement limitée, les estimateurs des paramètres sont peu précis, en raison du problème des paramètres incidents (*Neymann et Scott, 1948*). De plus, ils peuvent tendre à sous-estimer les effets de long terme. Le modèle à effets fixes est décrit plus en détail par exemple dans *Sevestre (2002)* ou *Hsiao (2003)*.

Le modèle linéaire à erreurs composées

Dans le modèle à erreurs composées, les effets individuels sont représentés sous la forme d'une perturbation aléatoire, qui constitue elle-même une composante de la perturbation totale ε_{it} . Dans ce modèle, les perturbations α_i et u_{it} sont supposées identiquement et indépendamment distribuées, indépendantes entre elles, et indépendantes des variables explicatives.

Pour que l'estimateur des *MCO* possède de bonnes propriétés et en particulier qu'il soit optimal, il est nécessaire que les perturbations ε_{it} soient homoscédastiques et non-auto-corrélées. Dans le cas du modèle ci-dessus, en revanche, les perturbations ε_{it} sont toujours homoscédastiques, mais auto-corrélées à travers le temps pour un même individu en raison de l'effet α_i . Dans ce contexte, l'estimateur des *MCO* demeure consistant mais cesse d'être à variance minimale.

On voit qu'il est possible de se ramener à un modèle dans lequel les perturbations sont indépendamment distribuées en supposant qu'il n'y a pas d'effets individuels – ou que leur variance est nulle – auquel cas la perturbation ε_{it} est seulement constituée du terme u_{it} qui est indépendamment et identiquement distribué, de sorte que l'estimateur des *MCO* retrouve l'ensemble de ses bonnes propriétés. Dans ce cas, la dimension temporelle de l'information ne joue aucun rôle : cela revient en fait à considérer que l'individu réévalue son choix de manière indépendante à chaque instant, et qu'aucune caractéristique individuelle non-observée n'induit une forme de permanence dans les choix individuels. L'approche sur données empilées revient donc à considérer qu'il n'y a pas d'effets spécifiques individuels.

Dans le cas du modèle à erreurs composées, il faut évaluer, en plus des paramètres associés aux variables explicatives, la variance des effets individuels. Différents estimateurs des paramètres sont possibles pour le modèle linéaire à erreurs composées, qui associent l'analyse de la variabilité intra-individuelle ou *within* et interindividuelle ou *between*. Les estimateurs des *MCG* (*Moindres Carrés Généralisés*) et des *MCQG* (*Moindres Carrés Quasi-Généralisés*) associent ces deux dimensions de manière optimale. Toutefois, les estimateurs *MCO*, *between* et *within* ne sont pas pour autant à négliger. Tous ces estimateurs ont en commun de pouvoir être obtenus en appliquant les *MCO* à un jeu d'observations transformées, obtenu en multipliant les observations initiales par un certain opérateur matriciel.

Variabilité interindividuelle et intra-individuelle

En effet, en raison de la spécificité des données de panel, la variabilité des observations présente deux dimensions, que ce soit au niveau des variables exogènes ou de la variable dépendante : une dimension individuelle, et une dimension temporelle. Il est possible de décomposer cette variabilité en utilisant les opérateurs matriciels *Between* (B) et *Within* (W), qui permettent de transformer le vecteur des observations initiales de manière à ce qu'il fournisse de l'information, respectivement sur les moyennes intra-individuelles et sur les écarts par rapport aux moyennes intra-individuelles. L'utilisation de ces opérateurs est à la base d'estimations différentes des paramètres, qui s'obtiennent en appliquant les *MCO* au modèle transformé soit par l'opérateur B , soit par l'opérateur W , c'est-à-dire en réécrivant le modèle, soit en moyennes intra-individuelles, soit en écarts aux moyennes intra-individuelles.

Les estimateurs du modèle à erreurs composées : *MCO*, *within*, *between*, *MCQG*, autres estimateurs

Dans le cas de données de panel, l'estimateur des *MCO* revient à raisonner dans la dimension totale, les dimensions *BETWEEN* et *WITHIN* n'étant pas pondérées. Si Z désigne le jeu des variables explicatives, y la variable dépendante, W et B les opérateurs *within* et *between*, on a en effet :

$$\hat{\delta}_{MCO} = (Z^T Z)^{-1} Z^T y = (Z^T B Z + Z^T W Z)^{-1} (Z^T B y + Z^T W y)$$

Cela revient à ne pas prendre en compte la structure de panel dans l'organisation des données, et en particulier l'existence possible d'effets spécifiques individuels. Toutefois, en présence d'effets spécifiques individuels, l'estimateur des *MCO*, tout en demeurant consistant, cesse d'être efficace, en raison de l'auto-corrélation des perturbations. Il est préférable dans ce cas de recourir à d'autres estimateurs, tels que l'estimateur des *Moindres Carrés Quasi-Généralisés* (*MCQG*).

L'estimateur *BETWEEN* est obtenu en appliquant les *MCO* au modèle :

$$B y = B X \beta + Z \delta + B \varepsilon, \text{ c'est-à-dire en appliquant les } MCO \text{ aux moyennes individuelles.}$$

Comme l'estimateur des *MCO*, il est convergent et suit asymptotiquement une loi normale mais n'est pas efficace.

L'estimateur *WITHIN* est obtenu en appliquant les *MCO* au modèle :

$$W y = W X \beta + W u, \text{ c'est-à-dire en appliquant les } MCO \text{ aux écarts aux moyennes individuelles. Les constantes et les effets individuels disparaissent du modèle transformé.}$$

Cet estimateur est asymptotiquement efficace lorsque $T \rightarrow \infty$, auquel cas il a la même loi asymptotique que les *MCG*. En effet, lorsque T tend vers l'infini, les effets individuels aléatoires deviennent connus. Toutefois, en général, T est faible, de sorte qu'il est moins précis que l'estimateur des *MCQG*. Il présente toutefois l'avantage significatif sur ce dernier, d'être robuste à l'existence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives. *Mundlak (1978)* montre en effet que dans ce cas, l'estimateur des *MCQG* est biaisé, alors que ce problème n'affecte pas l'estimateur *WITHIN*, car par construction les effets individuels disparaissent de l'équation écrite en écarts à la moyenne. En effet, l'équation transformée du modèle linéaire après application de l'opérateur W s'écrit :

$$y_{it} - y_i = \beta(X_{it} - X_i) + u_{it} - u_i.$$

On voit que les effets individuels n'entrent plus en ligne de compte dans le modèle transformé, et par conséquent l'inférence sur les paramètres est indépendante de leur distribution.

A l'inverse, l'écriture du modèle en moyennes individuelles donne :

$$y_i = \beta X_i + \delta Z_i + \alpha_i + u_i.$$

L'estimateur *between* est donc dépendant de la distribution des effets individuels, de même que l'estimateur des *MCQG* qui pondère les estimateurs *between* et *within*.

A partir d'une spécification linéaire de la relation entre effets individuels et variables explicatives, *Mundlak (1978)* montre que la corrélation des effets individuels avec les variables explicatives est à l'origine de l'écart entre estimateurs *between* et *within*. La comparaison entre ces deux estimateurs peut donc fournir une information utile sur la présence éventuelle d'endogénéité.

Il est à noter que bien que l'estimateur *within* soit sans biais, il présente d'autres inconvénients, en particulier celui de faire disparaître non seulement les effets individuels mais également les caractéristiques permanentes. En outre, la durée d'observation d'un individu dans le panel étant généralement faible, l'estimation *within* tend à saisir plutôt des effets de court terme, tandis que, si on interprète l'hétérogénéité permanente entre individus au sein du panel comme le reflet d'un équilibre de long terme¹²¹, l'estimation *between* aurait plutôt tendance à saisir des effets de long terme (*Mundlak, 1978*). Pour cette raison, l'estimation *within* tend généralement à être inférieure à l'estimation *between*. Ce problème peut toutefois être amoindri en concentrant l'analyse sur des individus présents suffisamment longtemps dans le panel - par exemple trois ou cinq ans - ce qui est toutefois susceptible d'entraîner d'autres difficultés, d'attrition ou de sélection endogène.

En l'absence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives, le meilleur estimateur linéaire sans biais est l'estimateur des *Moindres Carrés Généralisés (MCG)*, qui associe les dimensions individuelle et temporelle de manière optimale afin de minimiser la variance de l'estimateur, en pondérant les estimateurs à raison inverse de leur variance.

En partant de l'écriture condensée du modèle ci-dessus :

$y = \beta X + \delta Z + \varepsilon$, et en supposant connue la matrice de variance-covariance des perturbations Ω , *Fuller et Battese (1974)* ont montré qu'en appliquant les *Moindres Carrés Ordinaires (MCO)* au modèle transformé :

$$\sigma_u \Omega^{-\frac{1}{2}} y = \sigma_u \Omega^{-\frac{1}{2}} X \beta + \sigma_u \Omega^{-\frac{1}{2}} Z \delta + \sigma_u \Omega^{-\frac{1}{2}} \varepsilon,$$

L'estimateur obtenu, dit des *Moindres Carrés Généralisés (MCG)* :

$\hat{\delta}_{MCG} = (Z^T \Omega^{-1} Z)^{-1} Z^T \Omega^{-1} y$, de variance $V(\hat{\delta}_{MCG}) = (Z^T \Omega^{-1} Z)^{-1}$, était asymptotiquement consistant et efficace, de distribution asymptotique normale, lorsque $N \rightarrow \infty$ et T fini. Toutefois, en pratique, la matrice Ω est inconnue. On a en effet :

¹²¹ En réalité, l'hétérogénéité ne résulte pas toujours de la formation d'un équilibre de long terme. Voir à ce sujet la discussion sur la différence entre hétérogénéité et sensibilité dans la section II.3.c.3.

$\Omega = W + \theta^2 B$ avec $\widehat{\theta^2} = \frac{\widehat{\sigma_u^2}}{\widehat{\sigma_1^2}}$ et $\widehat{\sigma_1^2} = T\widehat{\sigma_\alpha^2} + \widehat{\sigma_u^2}$, dans lequel W et B représentent respectivement les opérateurs matriciels intra-individuel et interindividuel.

Or, les variances σ_α^2 et σ_u^2 sont inconnues. Cependant, de nombreuses procédures existent pour estimer les variances σ_α^2 et σ_1^2 , ce qui permet ensuite d'obtenir un estimateur de la matrice de variance-covariance des perturbations Ω . En remplaçant Ω par $\hat{\Omega}$, on peut alors obtenir l'estimateur des *Moindres Carrés Quasi-Généralisés* (MCQG) :

$\hat{\delta}_{MCQG} = (Z^T \hat{\Omega}^{-1} Z)^{-1} Z^T \hat{\Omega}^{-1} y$, qui conserve les bonnes propriétés de convergence, d'efficacité et de normalité asymptotique. En effet, l'estimateur des MCQG est asymptotiquement équivalent à l'estimateur des MCG dès lors qu'on dispose d'estimateurs convergents de la variance des perturbations.

Pour estimer σ_1^2 et σ_u^2 , on peut par exemple utiliser les méthodes mises au point par *Wallace et Hussain (1969)*, *Amemiya (1971)*, *Nerlove (1971)* ou *Swamy et Arora (1972)*. Dans l'analyse du modèle linéaire de kilométrage par adulte motorisé, on a présenté seulement l'estimateur de *Wallace et Hussain (1969)*, utilisant les résidus des MCO au lieu des perturbations ε_{it} qui sont inconnues. Les estimateurs des variances σ_1^2 et σ_u^2 obtenus par cette méthode sont convergents et consistants, mais ne sont pas efficaces. Bien qu'efficace et donc plus précis que l'estimateur *within*, l'estimateur des *mcqg* n'est pas résistant à la présence d'endogénéité. Il est généralement proche de l'estimateur *between*, le nombre d'individus dépassant largement celui des périodes d'observation (*Mundlak, 1978*).

D'autres estimateurs sont possibles pour le modèle à erreurs composées, en particulier les estimateurs du *Maximum de Vraisemblance* (MV) et celui des *Moments Généralisés*. Toutefois, dans le cadre de cette étude, ils n'ont pas été utilisés pour la partie linéaire de la modélisation. L'estimateur du MV est utilisé dans la partie discrète.

Les modèles de choix dichotomiques sur données de panel

Contexte général : l'individu « rationnel », choix discret, utilité aléatoire, logit et probit

La détention du permis de conduire ou le fait pour un individu d'être motorisé sont des variables dichotomiques : elles décrivent un état qui ne peut prendre que deux valeurs, correspondant à la réalisation ou à la non-réalisation de l'évènement. Elles ne peuvent donc directement s'écrire comme une fonction des variables explicatives. Au lieu de cela, on en modélise la probabilité. La relation entre la réalisation de l'évènement et les variables explicatives s'obtient au travers d'une fonction d'utilité. On considère que l'évènement est réalisé si l'utilité de l'évènement se tient au-dessus d'un certain seuil - généralement on choisit 0 - et qu'il n'est pas réalisé dans le cas inverse, ce qui permet de se ramener au cas d'un modèle linéaire.

Avec cette approche, la méthode de calibrage du modèle consiste le plus souvent à spécifier une forme de la fonction d'utilité - généralement linéaire - puis à estimer les paramètres qui maximisent la vraisemblance des séquences d'évènements observés. Cette méthode d'estimation est dite du *maximum de vraisemblance* (MV). Pour obtenir une expression paramétrique de la

fonction de vraisemblance, il est nécessaire de postuler une forme *a priori* de la distribution du terme d'erreur – ou des utilités conditionnelles aux variables exogènes. On utilise le plus souvent deux formes de spécification de l'erreur : normale - correspondant au modèle *probit* - ou logistique - correspondant au modèle *logit*. La loi de distribution de l'erreur étant spécifiée, la probabilité de réalisation de l'évènement s'exprime comme une fonction des variables explicatives et des paramètres.

On considère un processus dans lequel l'état d'un individu résulte d'un choix entre différents états possibles. Le choix est dit *discret* dans la mesure où l'univers des choix possibles forme un ensemble fini et discontinu, par opposition à un choix qui s'effectuerait au sein d'un ensemble continu - par exemple le kilométrage généré par adulte. Dans le cas qui nous intéresse, il est dit dichotomique dans la mesure où l'ensemble des états possibles – et par conséquent l'univers des choix envisageables – se réduit à une alternative binaire.

La théorie économique professe que l'individu est « *rationnel* ». Par rationalité, il faut ici entendre que lorsqu'il est confronté à un choix, il tendra à privilégier la possibilité qui lui apportera le bénéfice maximal, ou encore celle qui sera pour lui de la plus grande utilité. C'est le principe de maximisation de l'utilité. Pour pouvoir effectuer un choix, l'individu doit donc préalablement calculer l'utilité qu'il retirerait de chaque possibilité, qui peut s'entendre comme un avantage ou à l'inverse représenter une désutilité, comme par exemple le temps de transport, dans le cadre du choix entre différents modes de transport¹²². La théorie de l'individu « rationnel » est toutefois critiquable à différents égards :

- En premier lieu, l'individu ne dispose pas d'une information parfaite sur les attributs de chaque alternative ; il n'est donc pas en mesure d'évaluer avec précision les bénéfices qu'il en retirera, ni les inconvénients qui y sont attachés. Par exemple, s'agissant du choix entre plusieurs moyens de transport pour se rendre à un lieu de destination, le temps réel de déplacement ne coïncide pas toujours nécessairement avec les anticipations individuelles, ni avec l'information fournie par l'opérateur, par exemple en cas de perturbations dans les transports ou de correspondance manquée. L'individu effectue donc ses choix sur la base d'une information lacunaire ou inexacte ;
- Le choix n'est pas fondé exclusivement sur des critères monétaires, mais également non-monétaires : confort, temps économisé, etc. Toutefois, ces limites ne remettent pas fondamentalement en cause le postulat de l'individu rationnel, mais impliquent seulement d'en élargir le cadre. La composante de l'utilité relative aux attributs non-monétaires des choix individuels peut en effet être modélisée, ce qui revient en fait à « monétariser » les composantes non-monétaires des choix, c'est-à-dire à en déterminer une équivalence monétaire, par exemple la « valeur du temps » ;
- Les univers de choix peuvent être limités en pratique par diverses contraintes. Par exemple, les choix de niveaux d'utilisation des véhicules strictement positifs impliquent que les individus soient préalablement motorisés ;

¹²² Cependant, si on tient compte de la notion d'utilité intrinsèque du déplacement - compte tenu de la possibilité de « valoriser » le temps de déplacement en réalisant différentes activités – on peut aussi supposer que le déplacement présente une utilité positive. En pratique, cette distinction ne devrait pas toutefois modifier de façon majeure l'application qui est faite des modèles de choix discret, dans la mesure où ce sont les différences entre utilités qui déterminent les choix, davantage que les utilités elles-mêmes. Elle pourrait cependant conduire à des évolutions dans la spécification des modèles.

- Le comportement humain, et en particulier les comportements de mobilité, sont dans une large mesure structurés par des habitudes, conscientes ou inconscientes. C'est par exemple le cas du choix de moyen de transport pour se rendre à son lieu de travail : en règle générale, ce choix est effectué une fois pour toutes la première fois que l'individu se rend à son travail, puis n'est plus remis en question par la suite, car il fait alors partie des habitudes structurant son mode de vie. Ce choix n'est en général remis en question qu'à l'occasion de changements fondamentaux dans le parcours de vie : déménagement, séparation, etc. Par conséquent, dans un grand nombre de situations, l'individu ne se trouve pas réellement en situation de choix. L'absence de choix, rendue possible par l'installation de routines, est d'ailleurs un confort essentiel de la vie quotidienne dans la mesure où elle permet de réduire la charge mentale ;
- Enfin, le comportement humain n'est pas entièrement déterminé par la rationalité – au sens précédent. L'être humain n'est pas constamment régi par les « *eaux glacées du calcul égoïste* » (Engels et Marx, 1848), mais agit aussi en fonction de préférences purement personnelles, ou même (parfois) sous l'inspiration de motivations « altruistes » – la solidarité, l'amour, l'amitié, etc.

Le cadre général de modélisation des choix discrets est constitué par les modèles à utilité aléatoire (Mc Fadden, 1973, 1981 ; Ben Akiva, 1974), qui combinent le concept d'utilité avec la théorie des probabilités. Pour traduire l'hypothèse de maximisation de l'utilité sur un plan opérationnel, il est nécessaire de représenter l'utilité comme une fonction de variables exogènes dotée d'une forme fonctionnelle explicite. On considère cependant que certains facteurs de choix sont inconnus ou du moins inobservables. En outre, les facteurs observables peuvent eux-mêmes être entachés d'erreurs de mesure ou d'échantillonnage. L'ensemble des facteurs inobservables qui exercent une influence sur la fonction d'utilité sont représentés sous la forme d'une perturbation aléatoire que l'on suppose distribuée selon une certaine loi dont on suppose la forme connue *a priori* – généralement normale ou logistique. L'utilité est alors composée d'une partie déterministe – en général une combinaison linéaire des variables explicatives, dans laquelle les coefficients des variables explicatives sont des paramètres à estimer – et d'une partie aléatoire.

Deux lois sont fréquemment utilisées pour décrire la distribution conditionnelle de la variable dépendante dans les modèles de choix discret : la loi normale et la loi logistique. Les modèles basés sur une distribution normale du phénomène sont appelés modèles *probit* et les modèles basés sur une distribution logistique modèles *logit*. Formellement, on considère le modèle :

$Y_i^* = \beta X_i + \varepsilon_i$, décrivant la relation entre l'espérance de la variable latente Y_i^* , représentant l'utilité relative du choix $Y_i = 1$, et les variables explicatives X_i . Dans les modèles *logit*, la forme de la loi logistique de paramètres m et σ est donnée par la fonction de répartition :

$$\Lambda(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x-m}{\sigma}}}$$

Dans le cas de la loi logistique standard de paramètres 0 et 1, cette expression se simplifie en :

$$\Lambda(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

La densité correspondante est décrite par la fonction :

$$f(x) = \frac{e^{-x}}{(1 + e^{-x})^2}$$

A l'inverse, pour une probabilité p de réalisation de l'évènement, l'utilité latente est donnée par :

$$Y^* = \text{Logit}(p) = \text{Log} \frac{p}{1-p}$$

On peut remarquer que le rapport $\frac{p}{1-p}$ est aussi un *odds ratio* ou un rapport de chances. Il désigne le rapport entre la probabilité d'occurrence de l'évènement et sa probabilité de non-occurrence, indiquant que l'évènement a $\frac{p}{1-p}$ fois plus de chances de se réaliser que de ne pas se réaliser. Le choix d'une perturbation logistique présente des avantages en termes de calcul, dans la mesure où les probabilités qui en dérivent ont une forme explicite, liée à la fonction de répartition de la loi logistique.

Dans le cas de la loi normale, la forme générale de la fonction de densité est donnée par :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2}, \text{ soit dans le cas de la loi standard de paramètres } 0 \text{ et } 1, f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2}$$

Contrairement à la loi logistique, la fonction de répartition de la loi normale ne possède pas de forme explicite. Elle s'exprime simplement par :

$$\Phi_\sigma(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\left(\frac{u}{\sigma}\right)^2} du$$

L'intégrale ne peut donc être évaluée que par des méthodes numériques. On dispose cependant de tables pour les quantiles de la loi normale standard. Par un changement de variable, on obtient $\Phi_\sigma(x) = \Phi\left(\frac{x}{\sigma}\right)$, avec $\Phi(\cdot)$ fonction de répartition de la loi normale standard, et $f_\sigma(x) = \frac{1}{\sigma} f\left(\frac{x}{\sigma}\right)$. Ces propriétés sont commodes car elles permettent de se rapporter à la loi normale standard.

La formulation de la distribution d'une loi normale peut être étendue au cas d'une distribution multidimensionnelle, dans laquelle les variables peuvent être corrélées. Dans le cas de deux variables (X_1, X_2) suivant une loi normale bidimensionnelle d'espérance $\mu = (\mu_1, \mu_2)$ de matrice de variance-covariance Σ , avec :

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \text{Var } X_1 & \text{Cov}(X_1, X_2) \\ \text{Cov}(X_1, X_2) & \text{Var } X_2 \end{pmatrix}$$

La densité de la loi normale jointe s'écrit :

$$f_{\mu, \Sigma}(x) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \Sigma^{-1} (x-\mu)}$$

Où $|\Sigma|$ représente le déterminant de la matrice Σ .

Les modèles de choix dichotomiques sur données de panel : logit conditionnel et probit à erreurs composées

Différents modèles de choix dichotomiques sur données de panel ont été développés dans la littérature. On présente ici les deux modèles principalement utilisés, à savoir le modèle *probit* à erreurs composées, et le *logit* conditionnel, avant de justifier notre choix du *probit* à erreurs composées. Ces deux modèles transposent, dans le domaine des modèles de choix discret sur données de panel, le problème du choix entre effets fixes et aléatoires qui se posait déjà dans le cas linéaire.

La forme générale du modèle de choix dichotomique sur données de panel constitue une transposition du cas linéaire, dans laquelle la variable dépendante est remplacée par la variable latente d'utilité de réalisation de l'évènement :

$$Y_{it}^* = \beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i + u_{it}, \text{ avec :}$$

$$Y_{it} = 1 \Leftrightarrow Y_{it}^* \geq 0$$

$$Y_{it} = 0 \Leftrightarrow Y_{it}^* < 0$$

Le logit conditionnel

Dans le cas d'une spécification à effets fixes, on utilise le *logit* conditionnel. Dans le cas des modèles de choix discret, la méthode de résolution du problème des paramètres incidents (*Neymann et Scott, 1948*) utilisée dans le cas linéaire n'est plus applicable. Il n'est plus possible, en effet, d'éliminer les effets individuels de la formulation de la log-vraisemblance, par écriture du modèle en différences premières ou en écarts à la moyenne. L'ensemble des effets individuels demeurent donc des paramètres à estimer en plus des paramètres associés aux variables exogènes. En outre, en raison de la présence des effets individuels, il n'est pas possible de calculer des effets marginaux, ce qui constitue un autre inconvénient du modèle à effets fixes.

Le problème des paramètres incidents génère de plus dans le cas des modèles de choix discret un biais sévère dans l'estimation des paramètres du modèle. *Chamberlain (1984)*, par exemple, montre dans le cas du modèle *logit* à effets fixes avec deux périodes qu'en raison des paramètres incidents – ici les effets individuels – l'estimateur du MV converge asymptotiquement vers le double de la vraie valeur. La présence des effets individuels perturbe donc l'estimation des paramètres du modèle. Lorsque T augmente, le biais asymptotique est en $1/T$. Le problème des paramètres incidents tend donc à diminuer lorsque T augmente. Lorsque T tend vers l'infini, l'estimateur du maximum de vraisemblance est convergent et sans biais.

Néanmoins, il a été montré que sous réserve de conditionnement à une statistique suffisante - définie comme une fonction des réalisations indépendante des effets individuels – l'estimateur du maximum de vraisemblance qui en découlait était asymptotiquement consistant (*Andersen, 1970 ; Chamberlain, 1980*). Dans le cas du modèle *logit*, une telle statistique est représentée par $\sum_{t=1}^T y_{it}$. Autrement dit, on maximise la probabilité des séquences d'évènements observées, en tenant compte de leur ordre de réalisation, parmi les séquences possibles ayant le même nombre de réalisations – ou ce qui revient au même, conditionnellement au nombre de réalisations, qui est supposé connu pour chaque individu. Conditionnellement à cette statistique, la vraisemblance ne dépend plus de l'effet individuel mais dépend toujours des paramètres du modèle.

Cependant, une telle statistique suffisante n'existe pas toujours, mais dépend en pratique de la forme de la distribution des perturbations. Par exemple, pour le modèle *probit*, il n'existe pas de telle statistique suffisante. De plus, comme pour l'estimateur *within* dans le cas linéaire, le *logit* conditionnel repose uniquement sur l'analyse des variations intra-individuelles. Les individus qui n'ont pas changé d'état au cours de la période d'observation n'apportent donc pas d'information utile à l'estimation des paramètres, de sorte qu'on ne pourra pas estimer avec ce modèle les paramètres associés aux variables permanentes comme la génération ou le sexe, par exemple.

Dans le cadre du modèle à effets fixes, les α_i sont des constantes inconnues, tandis que les u_{it} sont des perturbations aléatoires suivant une certaine loi de probabilité, indépendantes entre elles et identiquement distribuées, indépendantes des variables explicatives et des effets individuels. Si F est la fonction de répartition des u_{it} , on a :

$$P(Y_{it} = 1) = P(Y_{it}^* \geq 0) = P(u_{it} \geq -\beta X_{it} - \delta Z_i - \alpha_i) = 1 - F(-\beta X_{it} - \delta Z_i - \alpha_i)$$

$$P(Y_{it} = 0) = P(Y_{it}^* < 0) = P(u_{it} \leq -\beta X_{it} - \delta Z_i - \alpha_i) = F(-\beta X_{it} - \delta Z_i - \alpha_i)$$

Dans le cas des fonctions *logit* et *probit*, on peut de plus utiliser la symétrie de la distribution des perturbations qui nous donne :

$$P(Y_{it} = 1) = F(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i) \text{ et } P(Y_{it} = 0) = 1 - F(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)$$

On en déduit l'expression de la vraisemblance :

$$L = \prod_{i=1}^N \prod_{t=1}^T [F(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)]^{Y_{it}} [1 - F(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)]^{1-Y_{it}}$$

Chamberlain (1980,1984) montre que dans le cas général l'estimateur basé sur la maximisation de la vraisemblance ne converge pas vers la vraie valeur des paramètres, en raison de la covariance entre les paramètres (β, δ) et les effets individuels, et que les conditions de premier ordre de la log-vraisemblance ne sont pas vérifiées pour $\hat{\beta} = \beta$, la vraie valeur du paramètre. Dans le cas du modèle *logit*, par exemple, dans le cas où on ne dispose que de deux périodes d'observation ($T = 2$), on trouve que :

$$p \lim_{N \rightarrow \infty} \hat{\beta} = 2\Lambda^{-1}[p(y_{i1} = 0, y_{i2} = 1 | y_{i1} + y_{i2} = 1)] = 2\beta$$

Cependant, on considère maintenant le problème de maximisation de la vraisemblance conditionnelle, qui s'écrit :

$$\text{Max}_{\beta} L(y_{i1} \dots y_{it} | X_i; \beta; \sum_{t=1}^{T_i} y_{it})$$

Ce modèle représente une variante du *logit* multinomial développé par *Theil (1969)*, puisqu'on modélise la probabilité d'une séquence particulière parmi un ensemble de séquences possibles. D'une manière générale, l'expression de la log-vraisemblance conditionnelle sera donnée par :

$$L_c(y, z, \delta, \alpha) = \prod_{i=1}^N P((y_{it})_{t \in \tau_i} | \sum_{t \in \tau_i} y_{it}, z, \delta, \alpha), \text{ où } \tau_i \text{ représente l'ensemble des périodes d'observation spécifiques à l'individu } i.$$

Posons $L_c^B = \prod_{i=1}^N P(\sum_{t \in \tau_i} y_{it} | z, \delta, \alpha)$ - B est ici utilisé par analogie avec le modèle *between* dans le cas linéaire, dans la mesure où l'estimateur qui résulterait de la maximisation de cette expression ne dépendrait que du nombre de réalisations pour chaque individu et non de leur ordre de réalisation, tout comme l'estimateur *between* ne dépendait que des moyennes individuelles. Le nombre de réalisations divisé par le nombre de périodes d'observations, en effet, peut être considéré comme un estimateur de la probabilité de réalisation moyenne pour l'individu, qui dépend de ses caractéristiques permanentes.

$$\text{Or, } P(\sum_{t \in \tau_i} y_{it} | z, \delta, \alpha) = \prod_{t \in \tau_i} P(y_{it} | z, \delta, \alpha) + \sum_{w \in \Omega_{k_i} / \{y_i\}} \prod_{t \in \tau_i} P(w_{it} | z, \delta, \alpha)$$

Dans lequel Ω_{k_i} est l'ensemble des séquences d'évènements possibles sur l'ensemble de périodes τ_i telles que $\sum_{t \in \tau_i} w_{it} = \sum_{t \in \tau_i} y_{it} = k_i$. On exprime simplement le fait que la probabilité qu'une séquence comporte le nombre de réalisations observé est égale à la somme des probabilités de chaque séquence possible comportant le même nombre de réalisations, en distinguant parmi ces séquences possibles entre la séquence y_i observée et l'ensemble des autres séquences possibles. En factorisant, il vient :

$$P(\sum_{t \in \tau_i} y_{it} | z, \delta, \alpha) = \prod_{t \in \tau_i} P(y_{it} | z, \delta, \alpha) \left[1 + \sum_{w \in \Omega_{k_i} / \{y_i\}} \prod_{t \in \tau_i} \frac{P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}{P(y_{it} | z, \delta, \alpha)} \right]$$

$$\text{Mais } \frac{P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}{P(y_{it} | z, \delta, \alpha)} = \frac{1 + e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)}}{1 + e^{[-1]^{w_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)}}$$

Dans le cas où $w_{it} = y_{it}$, $\frac{P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}{P(y_{it} | z, \delta, \alpha)} = 1$ et ce terme ne contribue pas au produit $\prod_{t \in \tau_i} \frac{P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}{P(y_{it} | z, \delta, \alpha)}$.

Dans le cas où $w_{it} = 1 - y_{it}$, on a :

$$\frac{P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}{P(y_{it} | z, \delta, \alpha)} = e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)} \frac{1 + e^{[-1]^{w_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)}}{1 + e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)}} = e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)}$$

$$\text{D'où } P(\sum_{t \in \tau_i} y_{it} | z, \delta, \alpha) = \prod_{t \in \tau_i} \frac{1}{1 + e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)}} \left[1 + \sum_{w \in \Omega_{k_i} / \{y_i\}} \prod_{t \in \tau_{wi}} e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)} \right]$$

Où τ_{wi} représente cette fois l'ensemble des périodes pour lesquelles $w_{it} = 1 - y_{it}$, c'est-à-dire où les réalisations w_t et y_{it} diffèrent.

$$\text{Mais } \prod_{t \in \tau_{wi}} e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)} = e^{\alpha_i \sum_{t \in \tau_{wi}} (-1)^{y_{it}}} e^{\sum_{t \in \tau_{wi}} (-1)^{y_{it}} z_{it} \delta}.$$

Or, on peut montrer que $\sum_{t \in \tau_{wi}} (-1)^{y_{it}} = 0$.

$$\text{Donc il reste } \prod_{t \in \tau_{wi}} e^{[-1]^{y_{it}}(z_{it}\delta + \alpha_i)} = e^{\sum_{t \in \tau_{wi}} (-1)^{y_{it}} z_{it} \delta}$$

On remarque dans ce résultat que l'expression de $\prod_{t \in \tau_{wi}} \frac{P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}{P(y_{it} | z, \delta, \alpha)}$ ne dépend plus de α_i . Or, la vraisemblance conditionnelle s'écrit :

$$L_c^i(y, z, \delta, \alpha) = P \left((y_{it})_{t \in \tau_i} \middle| \sum_{t \in \tau_i} y_{it}, z, \delta, \alpha \right) = \frac{P[(y_{it})_{t \in \tau_i}]}{P(\sum_{t \in \tau_i} y_{it})}$$

$$= \frac{\prod_{t \in \tau_i} P(y_{it} | z, \delta, \alpha)}{\prod_{t \in \tau_i} P((y_{it}) | z, \delta, \alpha) + \sum_{w \in \Omega_{k_i} / \{y_i\}} \prod_{t \in \tau_i} P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}$$

$$L_c^i(y, z, \delta, \alpha) = \frac{1}{1 + \sum_{w \in \Omega_{k_i} / \{y_i\}} \frac{P(w_{it} | z, \delta, \alpha)}{P(y_{it} | z, \delta, \alpha)}} = \frac{1}{1 + \sum_{w \in \Omega_{k_i} / \{y_i\}} e^{\sum_{t \in \tau_i} w_i (-1)^{y_{it} z_{it} \delta}}}$$

On voit que l'expression de la vraisemblance conditionnelle L_c^i ne dépend plus de α_i . Cette formulation permet donc d'éliminer les effets individuels du calcul de la (log)-vraisemblance, de sorte que l'estimation des paramètres du modèle est consistante indépendamment de la distribution particulière des effets individuels. Ce résultat peut aussi s'interpréter en considérant que le *logit* conditionnel maximise la vraisemblance par « paquets » homogènes, ou par strates, la vraisemblance étant indépendante des effets individuels à l'intérieur de chaque strate correspondant à des univers de choix hétérogènes. Elle peut d'une certaine manière être considérée comme analogue à l'estimateur *within* dans le cas linéaire.

L'élimination des variables permanentes de la vraisemblance peut être illustrée par exemple dans le cas où $T = 2$, pour lequel on aura :

$$P(y_{i1} = 0, y_{i2} = 1 | y_{i1} + y_{i2} = 1) = \frac{\exp((Z_{i2} - Z_{i1})\delta)}{1 + \exp((Z_{i2} - Z_{i1})\delta)}$$

$$P(y_{i1} = 1, y_{i2} = 0 | y_{i1} + y_{i2} = 1) = \frac{1}{1 + \exp((Z_{i2} - Z_{i1})\delta)}$$

Dans le cas où les variables Z_i sont invariantes dans le temps, $Z_{i2} = Z_{i1}$ et par conséquent :

$$P(y_{i1} = 0, y_{i2} = 1 | y_{i1} + y_{i2} = 1) = P(y_{i1} = 1, y_{i2} = 0 | y_{i1} + y_{i2} = 1) = \frac{1}{2}$$

Le conditionnement n'est donc ici d'aucune utilité pour l'estimation du modèle.

Le probit à erreurs composées

Dans le cas d'une spécification des effets individuels sous la forme d'effets aléatoires, le modèle le plus adapté sur données de panel est le *probit* à erreurs composées. Comme dans le cas linéaire, les perturbations sont alors supposées distribuées selon une loi normale, et peuvent être décomposées en une perturbation individuelle permanente au cours du temps α_i , de variance σ_α^2 et une perturbation locale u_{it} , de variance égale à 1. Comme dans le cas linéaire, on n'est plus intéressé par la connaissance des effets individuels α_i mais par leur variance. La fonction de vraisemblance conditionnelle aux effets individuels s'écrit toujours :

$$L(y_{i1} \dots y_{iT} | X_i; Z_i; \alpha_i) = \prod_{t=1}^T [F(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)]^{y_{it}} [1 - F(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)]^{1-y_{it}}$$

Toutefois, contrairement au cas du modèle à effets fixes, on ne connaît pas les effets individuels mais seulement leur distribution. On n'est donc plus intéressés, dans ce cas, par la maximisation de la vraisemblance conditionnelle aux effets individuels, mais plutôt par celle de la vraisemblance inconditionnelle, puisqu'on cherche également à estimer le paramètre σ_α^2 .

Une hypothèse plus restrictive mais permettant d'estimer des paramètres pour l'ensemble des variables explicatives, asymptotiquement consistants - sous réserve d'absence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives - et efficaces, consiste, comme dans le cas linéaire, à supposer les effets individuels indépendants des variables explicatives. L'estimateur des paramètres qui en découle est également normalement distribué et possède donc de bonnes propriétés.

On peut alors exprimer la fonction de vraisemblance en intégrant sur la distribution des effets individuels, soit :

$$L(y_{i1} \dots y_{iT} | X_i; Z_i) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\prod_{t=1}^T [\Phi(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)]^{y_{it}} [1 - \Phi(\beta X_{it} + \delta Z_i + \alpha_i)]^{1-y_{it}} \right) g(\alpha_i) d\alpha_i$$

$g(\alpha_i)$ désignant la distribution des effets individuels.

L'expression peut alors être maximisée par rapport aux paramètres β , δ , σ_α^2 . Alternativement, on peut intégrer directement la vraisemblance sur la distribution des perturbations ε_{it} . En raison de l'auto-corrélation des perturbations ε_{it} , la probabilité de la séquence d'événements n'est toutefois plus égale au produit des probabilités pour chaque période. On aura en toute généralité :

$$L(y_{i1} \dots y_{iT} | X_i; Z_i) = \iiint f(\varepsilon_{i1} \dots \varepsilon_{iT}) d\varepsilon_{i1} \dots d\varepsilon_{iT}$$

Dans ce cas, on doit calculer une intégrale multiple. *Sevestre (2002)* montre toutefois qu'il est possible de se rapporter à une intégrale simple, de la forme :

$L(y_{i1} \dots y_{iT} | X_i; Z_i) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-z^2) f(z) dz$, qui peut être calculée numériquement par la méthode de quadrature gaussienne à partir des polynômes d'Hermite $\sum_{j=1}^J w_j f(z_j)$ remplaçant l'expression de l'intégrale dont ils constituent une approximation numérique, dans lesquels z_j sont les points d'évaluation des polynômes d'Hermite ou « points de quadrature », et w_j les poids respectifs attribués aux différents points d'évaluation, qui sont indiqués dans des tables numériques figurant dans les recueils de *Abramowitz et Stegun (1965)* ou *Stroud et Secrest (1966)*, cf. *Pirotte (2012)*. Le gradient de la log-vraisemblance peut alors faire l'objet d'une approximation numérique par la méthode de quadrature gaussienne.

Les points de quadrature sont choisis de manière à constituer les racines de polynômes orthogonaux pour le produit scalaire $\langle f | g \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-z^2) f(z) g(z) dz$. Le nombre de points de quadrature est alors un paramètre à préciser dans la procédure d'estimation du modèle. En pratique, dans les modèles utilisés, on a eu recours à douze points de quadrature.

Estimation par le Maximum de Vraisemblance (MV)

Dans le cas d'un modèle de choix discret, le recours aux moindres carrés ordinaires n'a évidemment plus de sens puisque la variable dépendante n'est plus une variable continue, mais une variable discrète à support fini, pouvant prendre deux ou plusieurs valeurs. Il n'existe donc pas de relation directe entre la variable dépendante et les variables explicatives. Une possibilité pour contourner ce problème consiste à représenter le choix comme la réalisation d'un événement au sein d'un univers de choix possibles pour l'individu, et de supposer que ce choix résulte de l'application d'un critère non-observé, qui est représenté sous la forme d'une variable latente, en

l'occurrence l'utilité du choix, qui s'exprime elle-même comme une fonction des variables observées, de paramètres inconnus et de facteurs inobservés distribués aléatoirement suivant une certaine loi :

$$Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

A la variable latente Y_i^* mesurant l'utilité, qui est non-observée, correspond la variable observée Y_i , décrivant le choix effectué par l'individu. Pour exprimer la relation entre l'utilité et le choix, on supposera par exemple que :

$$\begin{aligned} Y_i = 1 &\Leftrightarrow Y_i^* \geq 0 \\ Y_i = 0 &\Leftrightarrow Y_i^* < 0 \end{aligned}$$

Toutefois, en raison de la présence du terme d'erreur ε_i , l'utilité n'est pas déterminée avec précision mais constitue une variable aléatoire, distribuée selon une certaine loi de probabilité. La connaissance des β_k et des X_{ik} ne suffit donc pas à déterminer les choix effectués, mais permet seulement d'en estimer la probabilité. On aura en effet :

$$\begin{aligned} P(Y_i = 1) &= P(Y_i^* \geq 0) = P(\varepsilon_i \geq -\beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik}) \\ &= 1 - F(-\beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik}) \end{aligned}$$

Si $F(.)$ désigne la fonction de répartition du terme d'erreur ε_i . Les X_{ik} étant connus, on peut exprimer la probabilité de chaque réalisation observée comme une fonction des β_k . L'échantillon peut être divisé en deux groupes, l'un contenant les réalisations positives ($Y_i = 1$) et l'autre les réalisations négatives ($Y_i = 0$). Dans le cas où on suppose les perturbations indépendantes et identiquement distribuées, si on note respectivement I_0 et I_1 ces deux groupes, la probabilité d'occurrence de la séquence de réalisations observée dans l'échantillon est donnée par :

$$L(Y_0 \dots Y_N) = \prod_{i \in I_0} F(-\beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik}) \prod_{i \in I_1} [1 - F(-\beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik})]$$

Ce que l'on peut aussi écrire :

$$L(Y_0 \dots Y_N) = \prod_{i \in I} F(-\beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik})^{1-Y_i} [1 - F(-\beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik})]^{Y_i}$$

Cette fonction des observations et des paramètres β_k est appelée la vraisemblance (des réalisations observées dans l'échantillon). Le problème de maximisation de la vraisemblance consiste alors à rechercher des paramètres β_k qui maximisent la vraisemblance. Toutefois, il s'avère souvent plus pratique de maximiser la log-vraisemblance plutôt que la vraisemblance, ce qui peut s'effectuer en écrivant les conditions de premier ordre :

$$\frac{\partial \text{Log } L(Y|\beta; X)}{\partial \beta_k} = 0$$

Ainsi que les conditions de second ordre pour vérifier qu'il s'agit d'un maximum. Bien qu'étant l'estimateur « naturel » dans le cas d'un modèle de choix discret, l'estimation par le maximum de vraisemblance est également possible dans le cas d'un modèle linéaire, en utilisant la fonction de densité plutôt que la fonction de répartition. Par exemple, dans le cas d'une régression linéaire

simple et d'une distribution normale du terme d'erreur, la vraisemblance de l'échantillon sera décrite par :

$$L(Y|\beta; X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \prod_{i=1}^N e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik}}{\sigma}\right)^2}$$

On montre dans ce cas par l'écriture des conditions du premier ordre que l'estimateur du maximum de vraisemblance (MV) coïncide avec l'estimateur des MCO. On en déduit que dans ce cas particulier l'estimateur du MV possède l'ensemble des bonnes propriétés : absence de biais, consistance, normalité asymptotique. Dans le cas où la fonction de (log)-vraisemblance est concave, alors elle possède un maximum unique qui est donc un maximum global, déterminé de manière unique par l'écriture des conditions du premier ordre. C'est le cas notamment des modèles *logit* et *probit*, pour lesquels l'existence et l'unicité de l'estimateur du maximum de vraisemblance se trouve donc vérifiée. Cependant, en général, il n'est pas possible de déterminer le maximum de vraisemblance à partir d'un calcul analytique explicite, mais il sera le plus souvent nécessaire de procéder par des méthodes d'approximation numérique. On peut montrer que, sous de faibles conditions de régularité, l'estimateur du MV possède de bonnes propriétés, à savoir qu'il est consistant ($\text{plim}_{\infty} \hat{\beta} = \beta$), asymptotiquement efficace, et de distribution normale, indépendamment des conditions initiales et de l'algorithme d'optimisation.

On s'intéresse ensuite à la loi asymptotique de cet estimateur ainsi qu'à sa variance asymptotique. On suppose généralement que les x_i sont indépendants, ce qui suffit à garantir la normalité asymptotique et la \sqrt{N} – convergence des estimateurs (Amemiya, 1985 ; Greene, 1997). Sous ces conditions, la matrice de variance-covariance asymptotique existe, l'estimateur du MV est convergent et suit asymptotiquement une loi normale d'espérance β et de matrice de variance-covariance égale à l'inverse de la matrice d'information de Fischer $I(\beta)$ évaluée en β :

$$\sqrt{N}(\hat{\beta} - \beta) \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \mathcal{N}(0, I(\beta)^{-1})$$

$I(\beta)$ est la matrice d'information-limite telle que $I(\beta) = \lim_{\infty} \bar{I}_N(\beta)$ avec $\bar{I}_N(\beta) = -E \left[\frac{1}{N} \frac{\partial^2 \text{Log } L(\beta)}{\partial \beta_j \partial \beta_k} \right]$

La matrice d'information représente l'information sur β contenue dans l'échantillon, qui doit servir à son estimation. Elle représente la « courbure » de la log-vraisemblance au voisinage du maximum. Plus celle-ci est élevée, plus on dispose d'information pour évaluer la vraie valeur des paramètres, et donc plus l'algorithme convergera rapidement et plus l'estimation sera précise. Or, la matrice $I(\beta)^{-1}$ correspond à la borne de Cramer-Rao qui constitue la borne inférieure de la matrice de variance-covariance asymptotique dans la classe des estimateurs efficaces et asymptotiquement normaux. Par conséquent, la variance de l'estimateur du MV est minimale, de sorte que l'estimateur du MV est le plus précis possible. C'est donc un estimateur asymptotiquement efficace en plus d'être consistant. Néanmoins, la vraie valeur du paramètre β étant inconnue, on remplace généralement $I(\beta)^{-1}$ par l'estimateur de la matrice de variance-covariance asymptotique $I(\hat{\beta})^{-1}$.

Dans le cas du modèle *probit* à erreurs composées sur données de panel, une méthode d'estimation par le MV a été mise au point par Butler et Moffitt (1982). En effet, la difficulté de maximiser la vraisemblance dans le cas du modèle *probit* à erreurs composées vient du fait qu'en raison de l'auto-corrélation des perturbations, l'expression à maximiser est une T -intégrale

multiple, qui ne peut être évaluée par des méthodes usuelles. En fait, cette intégrale peut se résumer à une intégrale simple sur la distribution des effets individuels, en utilisant le fait que les perturbations locales conditionnellement aux variables explicatives et aux effets individuels sont indépendantes. Cette intégrale demeure toutefois complexe à évaluer, mais *Butler et Moffitt (1982)* ont montré que la procédure de quadrature gaussienne était très efficace sur le plan du calcul, et permettait d'obtenir une expression approchée de l'intégrale à partir de polynômes d'Hermite évalués en un nombre limité de points. Dans les estimations réalisées dans ce chapitre, on a par exemple retenu douze points de quadrature.

On pourrait toutefois utiliser également des méthodes alternatives à base de simulation. *Lerman et Manski (1981)* ont montré que celles-ci présentaient un intérêt non seulement pour la prévision, mais également pour l'inférence statistique, par exemple pour obtenir une expression numérique approchée de la log-vraisemblance dans le cas qui nous intéresse ici. Ces méthodes s'appuient notamment sur des tirages répétés dans la distribution des effets individuels pour obtenir une approximation de la valeur de la fonction-objectif. Elles impliquent toutefois un très grand nombre de tirages pour obtenir des estimateurs consistants.

Gourieroux et Montfort (1994) dressent un panorama des estimateurs à base de simulation pour les méthodes du maximum de vraisemblance et des moments généralisés (SMV et SGMM). Ils montrent que l'estimateur du maximum de vraisemblance simulée (SMV) a les mêmes propriétés asymptotiques que l'estimateur du MV dès lors que $N \rightarrow \infty$ et $H \rightarrow \infty$. Lorsque H est fixe, l'estimateur SMV présente un biais qui peut toutefois être évalué et décroît avec H , son ordre de grandeur étant $1/H$. D'une manière générale, les applications empiriques montrent de bonnes propriétés de ces estimateurs. En particulier, l'impact de la simulation devient rapidement négligeable à mesure que H augmente, et les estimateurs à base de simulation sont donc commodes.

Il faut distinguer, cependant, les méthodes qui visent à obtenir une expression approchée de la valeur de l'intégrale dans la fonction de log-vraisemblance, comme les méthodes par quadrature ou par simulation, des algorithmes de résolution numérique du problème de maximisation. Parmi ces dernières, on peut relever :

- La méthode par division d'intervalle ;
- La méthode de la sécante ;
- Les méthodes de Newton et Newton-Raphson ;
- La méthode du score de Fischer.

On a utilisé ici la méthode du score de Fischer.

Effets marginaux et élasticités

Modèle linéaire

La définition des effets marginaux d'une variable exogène sur une variable dépendante diffère selon qu'on considère une variable exogène continue ou discrète. L'effet marginal d'une variable exogène continue sur une variable dépendante en un point - par exemple pour un individu à

l'instant t – est défini comme la dérivée partielle de la variable dépendante par rapport à la variable exogène, toutes choses égales par ailleurs. L'effet marginal de X sur Y s'obtient ainsi par :

$$E_X = \frac{\partial Y}{\partial X}$$

Si on se place par exemple dans le cas d'un modèle linéaire :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon,$$

L'effet marginal de X_k sur Y sera représenté par le paramètre β_k . Dans ce cas, l'effet marginal est le même quelle que soit la valeur de X_k et par conséquent identique d'un individu à l'autre. L'effet marginal étant homogène, l'effet moyen estimé sur l'ensemble de l'échantillon coïncide avec l'effet calculé en chaque point.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \log X_1 + \dots + \beta_k \log X_k + \varepsilon,$$

Si on se place dans le cadre d'un modèle semi-log-linéaire selon la formulation ci-dessus, il n'en va déjà plus de même. L'effet marginal évalué en un point vaut alors :

$$E_{X_k} = \frac{\partial Y}{\partial X_k} = \frac{\beta_k}{X_k}$$

On observe cette fois-ci que l'effet marginal de X_k sur Y décroît avec la valeur de X_k , ce qui s'explique par la concavité de la fonction \log . Y continuera donc de croître indéfiniment à mesure que X_k s'élève, mais à un rythme de plus en plus lent. De plus, l'effet marginal moyen évalué sur l'ensemble de l'échantillon ne coïncidera en général plus avec l'effet marginal évalué en chaque point, sauf dans le cas d'un échantillon de caractéristiques homogènes.

Supposons maintenant qu'on souhaite estimer l'effet marginal d'une variable discrète X_k sur Y . On définira cette fois l'effet marginal du passage d'une modalité X_k^j à la modalité X_k^{j+1} sur Y par :

$$E_{X_k, j \rightarrow j+1} = \beta_k (X_k^{j+1} - X_k^j)$$

L'effet marginal coïncidera donc à nouveau avec β_k dans le cas où le pas de la variable explicative est unitaire. Ces relations demeurent inchangées dans le cadre d'un modèle linéaire sur données de panel, puisque les effets individuels ne modifient pas l'expression des effets marginaux.

L'élasticité d'une variable dépendante continue par rapport à une variable exogène continue est définie comme la variation relative de la variable dépendante rapportée à la variation relative de la variable exogène. Ainsi, par exemple, une élasticité de 1 indiquera qu'en moyenne, une variation de 10 % de la variable explicative entraînera une variation de 10 % de la variable dépendante. L'élasticité d'une variable Y par rapport à une variable X , pourra donc être définie comme :

$$\eta_{Y/X} = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\frac{\Delta Y}{Y}}{\frac{\Delta X}{X}} = \frac{\partial Y}{\partial X} * \frac{X}{Y}$$

Si on se situe dans le cadre d'un modèle linéaire :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon, \text{ on a donc } \eta_{Y/X_k} = \beta_k \frac{X_k}{Y}$$

Cette formulation permet de se rendre compte que si la relation entre Y et X_k est linéaire, l'élasticité de Y par rapport à X_k décroît tendanciellement à mesure que Y augmente. Si Y ne dépend que de la variable X_k - c'est le cas du modèle simplifié $Y = \beta_k X_k + \varepsilon$ - alors l'élasticité de Y par rapport à X_k demeure stationnaire, d'espérance égale à 1, aux fluctuations du terme d'erreur près.

Si par contre Y est fonction d'autres variables que X_k , alors l'élasticité de Y par rapport à X_k évoluera dans le temps en fonction des évolutions relatives des autres facteurs par rapport à X_k . Si X_k augmente moins vite que les autres facteurs par exemple, l'élasticité de Y par rapport à X_k aura tendance à diminuer, X_k apportant une contribution de plus en plus faible à la valeur de Y .

Dans le cas du modèle log-linéaire :

$$\log Y = \beta_0 + \beta_1 \log X_1 + \dots + \beta_k \log X_k + \varepsilon,$$

Les élasticités ont une formulation extrêmement simple. On a en effet :

$$\frac{\partial \log Y}{\partial \log X_k} = \beta_k = \frac{\partial \log Y}{\partial X_k} * \frac{dX_k}{d(\log X_k)} = X_k \frac{\partial \log Y}{\partial X_k} = \frac{X_k}{Y} \frac{\partial Y}{\partial X_k}$$

$$\text{Or } \eta_{Y/X_k} = \frac{\partial Y}{\partial X_k} * \frac{X_k}{Y} = \beta_k$$

Le choix d'une spécification log-linéaire simultanément au niveau de la variable dépendante et des variables exogènes continues est donc avantageux car il permet une estimation directe des élasticités à partir des paramètres du modèle.

Dans le cas d'un modèle linéaire sur données de panel, on a :

$$Y_{it} = \beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \alpha_i + u_{it}$$

Dans ce cas, l'élasticité en un point dépend non seulement des variables explicatives X_{kit} mais également de l'effet individuel α_i . On a en effet :

$$\eta_{\{Y/X_k\} | X_{1it} \dots X_{kit}, \alpha_i} = \beta_k \frac{X_{kit}}{Y} = \beta_k \frac{X_{kit}}{\beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \alpha_i}$$

Cependant, dans une spécification à erreurs composées, on ne connaît pas les α_i mais seulement leur distribution. Pour obtenir une estimation des élasticités inconditionnelles, il est donc nécessaire d'intégrer sur la distribution des effets individuels. On aura donc :

$$\eta_{\{Y/X_k\} | X_{1it} \dots X_{kit}} = \beta_k \int_{\alpha_i} \frac{X_{kit}}{\beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \alpha_i} g(\alpha_i) d\alpha_i \text{ où } g(\alpha_i) \text{ représente la densité des } \alpha_i.$$

Dans le cas d'une spécification log-linéaire, cette opération n'est pas nécessaire puisque l'estimation du paramètre est constante et égale à β_k .

Modèles de choix discret dichotomiques

Si on se place dans le cas d'un modèle de choix dichotomique, la variable Y que l'on cherche à modéliser – l'utilité du choix – n'est pas observée mais latente. En repartant du modèle estimé :

$$Y^* = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \dots + \hat{\beta}_k X_k + \varepsilon,$$

L'effet marginal de X_k sur l'utilité Y^* est à nouveau représenté par le paramètre $\hat{\beta}_k$. Toutefois, en pratique on est peu intéressé à connaître l'effet marginal de X_k sur Y^* . Si par exemple on se place dans le cas du modèle de motorisation, on sera beaucoup plus intéressé par la connaissance de l'effet marginal moyen de X_k sur le taux de motorisation individuel. Cependant, si on se place dans le cadre d'un modèle désagrégé individuel, la notion de taux de motorisation n'a plus de sens. Au lieu de cela, il est possible de calculer, sur la base du modèle estimé, des probabilités de motorisation individuelles p_i . Le taux de motorisation au sein d'un groupe déterminé est alors estimé en calculant la moyenne des probabilités simulées pour les individus de ce groupe. Au lieu d'un effet marginal de X_k sur le taux de réalisations, on peut donc estimer un effet marginal de X_k sur la probabilité de réalisation de l'évènement modélisé.

Dans le cas d'un modèle *probit*, les probabilités de réalisation individuelles seront obtenues par : $p_i = \Phi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik})$, $\Phi(\cdot)$ étant la fonction de répartition de la loi logistique. Quant aux effets marginaux, ils seront fournis par :

$$(E_{X_k})_i = \frac{\partial p_i}{\partial X_{ik}} = \hat{\beta}_k \frac{\partial \Phi}{\partial X_{ik}}(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik}) = \hat{\beta}_k \varphi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik}), \quad \text{ou de manière équivalente par :}$$

$$(E_{X_k})_i = \frac{\hat{\beta}_k}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik})^2}{2}}$$

Il est clair que les effets marginaux varient d'un individu à l'autre car ils dépendent des valeurs de l'ensemble des variables explicatives. D'une manière générale, on observe que :

$$(E_{X_k})_i = \hat{\beta}_k f(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik}) = \hat{\beta}_k F'(Y^*), \quad \text{dans lequel } f(\cdot) \text{ et } F(\cdot) \text{ désignent respectivement les fonctions de densité et de répartition des lois de distribution des utilités.}$$

Or, $Y^* \rightarrow \infty \Rightarrow f(Y^*) \rightarrow 0$ et $F(Y^*) \rightarrow 1$. De plus, $F(Y^*) \rightarrow 1 \Leftrightarrow Y^* \rightarrow \infty \Rightarrow f(Y^*) \rightarrow 0$
Donc $p_i = F(Y^*) \rightarrow 1 \Rightarrow f(Y^*) \rightarrow 0 \Rightarrow (E_{X_k})_i \rightarrow 0$

On observe donc que les effets marginaux des X_{ik} sur p_i tendent vers 0 lorsque $p_i \rightarrow 1$, ou alternativement, lorsque les $X_{ik} \rightarrow \infty$, si $\hat{\beta}_k > 0$. Si on se place dans le cadre de la diffusion individuelle du permis de conduire et de l'accès à un véhicule personnel parmi les détenteurs du permis de conduire, cela signifie en particulier que l'effet marginal du revenu, par exemple, tend vers zéro en phase de convergence vers la saturation. La décroissance tendancielle des effets marginaux vers zéro, en même temps que la probabilité de réalisation tend vers un, signifie tout à la fois que le rythme de croissance du taux d'équipement en fonction du revenu diminue, et que la distribution des taux de motorisation en fonction du revenu est de plus en plus homogène, puisque les probabilités de réalisation individuelles convergent uniformément vers 1.

Ce ralentissement qui s'accompagne d'une homogénéisation des comportements est toutefois spécifique à une étape de diffusion avancée. A l'inverse, si celle-ci est encore en régime de croisière, les effets marginaux tendront à être plus élevés, indiquant tout à la fois une hétérogénéité dans les niveaux de diffusion en fonction du revenu et une croissance rapide avec l'élévation générale du pouvoir d'achat. Une même augmentation de la fonction d'utilité n'a ainsi pas les mêmes effets sur le processus de diffusion selon le stade atteint par ce dernier.

Les formules précédentes ne s'appliquent en outre qu'au cas de variables explicatives continues. Si la variable est discrète, un passage à la limite est impossible. On considèrera alors plutôt comme mesure de l'effet marginal la variation de la variable dépendante pour le passage d'une modalité à une autre. Dans le cas d'une variable exogène dichotomique, l'effet marginal du passage de l'état 0 à l'état 1 sera obtenu comme :

$$(E_{X_k})_i = P_i(Y = 1|X_{ik} = 1) - P_i(Y = 1|X_{ik} = 0), \text{ les autres variables demeurant identiques.}$$

Plus généralement, dans le cas d'une variable discrète ordonnée de modalités C_k – comme par exemple la génération – on calculera le passage de C_k à C_{k+1} au lieu de l'effet d'une variation unitaire :

$$(E_{X_k})_i = P_i(Y = 1|C_{ik+1}) - P_i(Y = 1|C_{ik})$$

Toujours dans le cadre d'un modèle de choix dichotomique, il sera possible d'estimer les élasticités des probabilités de réalisation de l'évènement par rapport aux variables explicatives continues X_k , par :

$$\eta_{P(Y=1)/X_k} = \eta_{p_i/X_k} = \frac{\partial p_i}{\partial X_k} * \frac{X_k}{p_i}$$

La formule des élasticités utilise donc les effets marginaux, qui ont été calculés précédemment. Dans le cas du modèle *probit*, on aura :

$$\eta_{p_i/X_k} = \hat{\beta}_k \varphi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik}) * \frac{X_{ik}}{\Phi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik})}$$

$$\text{Soit } \eta_{p_i/X_k} = \hat{\beta}_k X_{ik} \frac{\varphi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik})}{\Phi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik})}$$

On a vu que les effets marginaux tendaient vers zéro lorsque la probabilité de réalisation tendait vers un. Or, lorsque $p_i \rightarrow 1$, $\eta_{p_i/X_k} \sim X_{ik} \frac{\partial p_i}{\partial X_k}$. La multiplication de l'effet marginal par X_{ik} ne change pas la convergence vers zéro car le terme $\frac{\partial p_i}{\partial X_k}$, qui tend vers zéro, domine sur le terme X_{ik} . On aura en effet, lorsque $p_i \rightarrow 1$:

$$\eta_{p_i/X_k} \sim \hat{\beta}_k X_{ik} \varphi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik})$$

$$\text{Et } \varphi(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik}) = \frac{\hat{\beta}_k}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ik})^2}{2}}, \text{ qui domine clairement sur } X_{ik}.$$

Donc les élasticités tendent également vers zéro lorsque $p_i \rightarrow 1$ et $X_{ik} \rightarrow \infty$. Dans le cadre du processus de diffusion d'un bien d'équipement durable ou d'une aménité – comme le permis de

conduire ou le véhicule personnel - on peut donc s'attendre à la décroissance tendancielle des élasticités à mesure qu'on se rapproche de la saturation, c'est-à-dire lorsque chaque individu - ou chaque ménage, selon le niveau de modélisation retenu – aura accès à cette aménité. Ce processus permet d'expliquer la décroissance tendancielle de l'élasticité du trafic moyen généré par adulte au revenu souvent relevée dans la littérature, si du moins on suppose que le trafic généré par adulte équipé présente une élasticité au revenu stationnaire, d'espérance invariante dans le temps¹²³.

¹²³ On a montré que cette hypothèse était vérifiée dans la section III.2.d.4, consacrée à la modélisation de l'usage des véhicules chez les personnes disposant d'un véhicule personnel.

ANNEXE 4

LE RELACHEMENT DES HYPOTHESES DE DISTRIBUTION DES EFFETS INDIVIDUELS

Dans les modèles linéaires

L'approche de Mundlak (1978)

Mundlak (1978) montre que la distinction entre effets fixes et effets aléatoires est arbitraire et non-nécessaire. Dans son approche, le modèle à effets fixes constitue un cas particulier de modèle avec effets aléatoires dans lequel aucune hypothèse n'est effectuée sur la distribution des effets individuels. A l'inverse, ce qui est appelé habituellement modèle à erreurs composées constitue un cas particulier de modèle à effets aléatoires dans lequel l'estimateur est contraint par des hypothèses fortes sur la distribution des effets individuels.

Il procède à une réécriture du modèle, dans laquelle il spécifie explicitement la relation entre effets individuels et variables explicatives, qui est supposée linéaire. Il montre alors que les estimateurs à effets fixes et à effets aléatoires coïncident dès lors qu'on ajoute les moyennes individuelles comme régresseurs additionnels. Dans ce cas, l'estimateur *BLUE* ou le meilleur estimateur linéaire sans biais est l'estimateur *within*, que ce soit dans le modèle à effets fixes ou à effets aléatoires. La différence entre les estimateurs *within* et *between* du modèle à erreurs composées s'explique par l'existence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives.

L'estimateur des *MCG* du modèle à erreurs composées est donc interprété comme un estimateur contraint, qui n'est consistant que sous l'hypothèse d'absence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives. Dans le cas contraire, il est biaisé, de même que n'importe quelle combinaison linéaire des estimateurs *within* et *between*. Seul l'estimateur *within* est consistant et sans biais. De ce fait, l'avantage de précision souvent attribué à l'estimateur des *MCG* repose sur des hypothèses qui seraient rarement vérifiées dans la pratique. A contrario, l'estimateur *within* est peu précis, en raison de la faible durée d'observation, mais consistant.

Mundlak (1978) relève également que l'estimateur *within* est plus proche d'un estimateur de court terme, compte tenu d'un nombre de périodes T généralement faible sur données de panel pour un individu donné, tandis que l'estimateur *between* s'apparenterait davantage à un estimateur de long terme¹²⁴. La comparaison entre les deux estimateurs nous renseigne donc simultanément sur l'existence de processus dynamiques ou de dépendance d'état et sur l'existence d'hétérogénéité individuelle corrélée avec les variables explicatives, ou endogénéité.

L'approche de *Mundlak (1978)* consiste donc à maintenir une approche à effets aléatoires tout en relâchant les hypothèses distributionnelles sur les effets individuels, en autorisant une forme

¹²⁴ Cette assimilation est cependant discutable et on en présente une discussion plus détaillée dans la section II.3.c.3.

particulière de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives, dans laquelle les effets individuels sont exprimés comme une fonction des moyennes intra-individuelles de ces mêmes variables.

L'approche de Chamberlain (1982)

Chamberlain (1982) étend l'approche de *Mundlak (1978)* en autorisant les effets individuels à être linéairement dépendants de n'importe quelle combinaison linéaire des valeurs passées, présentes et futures des variables explicatives, et non plus seulement de leurs moyennes individuelles. Les approches de *Mundlak* et *Chamberlain*, de même que les développements ultérieurs dans le cadre de modèles dynamiques (*Newey, 1994*) ont en commun de spécifier une distribution paramétrique des effets individuels conditionnellement aux variables explicatives. Elles représentent donc une voie médiane entre le modèle à erreurs composées, dans lequel les hypothèses de distribution sont très fortes, et le modèle à effets fixes, dans lequel on n'impose aucune contrainte sur celle-ci.

L'estimation par les moments généralisés

La méthode des moments constitue une méthode alternative au *Maximum de Vraisemblance (MV)* et aux *Moindres Carrés Généralisés (MCG)* pour obtenir des estimateurs sans biais des paramètres en l'absence de corrélation entre les effets individuels et les variables exogènes. Elle procède par résolution d'un système d'équations plutôt que par optimisation d'un critère, contrairement aux estimateurs du *MV* et des *MCG*. Les conditions sur les moments s'obtiennent par égalisation des moments théoriques et des moments empiriques d'échantillon.

Les conditions sur les moments sont des conditions d'orthogonalité – ou d'indépendance – entre les perturbations du modèle et le jeu des variables explicatives. Le système d'équations est résolu par une solution unique dès lors que le nombre de conditions sur les moments est égal au nombre de paramètres à estimer. En général, on écrira les conditions d'indépendance des perturbations par rapport à l'ensemble des variables explicatives : il y aura donc exactement autant de conditions sur les moments que de paramètres à estimer, et par conséquent, le système admettra une solution unique, en l'absence de colinéarité.

Dans le cas du modèle linéaire, l'estimation des moments ordinaires coïncide avec l'estimateur du *MV* et avec celui des *MCO*. Il est donc consistant et efficace. Toutefois, en présence de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives, celles-ci cessent d'être exogènes. Dans ce cas, les conditions sur les moments ordinaires aboutissent à des estimateurs biaisés.

Afin de traiter ce problème, on a recours à un estimateur par variables instrumentales, qui est robuste à la présence d'hétéroscédasticité, d'auto-corrélation des perturbations et de corrélation entre les effets individuels et les variables explicatives. Au lieu des variables explicatives initiales, les conditions d'orthogonalité sont réécrites avec un jeu d'instruments valides, c'est-à-dire de variables que l'on suppose corrélées avec les variables explicatives mais pas avec les effets individuels. Les instruments peuvent donc être utilisés dans le modèle à la place des variables initiales, mais sans l'inconvénient d'endogénéité. Comme précédemment, la condition d'identification du modèle est qu'il y ait au moins autant d'instruments que de paramètres à estimer.

Les méthodes par variables instrumentales constituent donc une extension de la méthode des moments permettant de relâcher les hypothèses de distribution sur les effets individuels. Toutefois, lorsqu'il y a plus d'instruments que de paramètres à estimer, ce qui est une situation fréquente dans les méthodes par variables instrumentales, le modèle est sur-identifié. Dans ce cas, le système d'équations résultant de l'écriture des conditions d'orthogonalité n'admet pas de solution. Une alternative pour obtenir un estimateur des paramètres consiste alors à minimiser une norme du vecteur des conditions sur les moments : c'est l'estimateur des moments généralisés (*GMM*). Il existe de ce fait autant d'estimateurs des moments généralisés que de choix de normes. Sous de faibles conditions de régularité, les estimateurs *GMM* sont consistants et asymptotiquement normalement distribués.

Les estimateurs *GMM* présentent d'importants avantages sur l'estimateur des *MCG*. En particulier, ils sont indépendants de la distribution des effets individuels, car généralement basés sur l'écriture du modèle en différences premières ou en écarts à la moyenne. Ils permettent de plus de tester *a posteriori* la validité des conditions d'orthogonalité.

Toutefois, ils présentent aussi des inconvénients importants. En particulier, ils sont d'une faible précision, pour la même raison qu'ils reposent surtout sur les différences intra-individuelles. De plus, la question du choix des instruments valide est une question délicate (*Newey, 1993*). Il est de ce fait souvent difficile en pratique de trouver des variables corrélées avec les variables explicatives du modèle et indépendantes des effets individuels.

Autres estimateurs à base de variables instrumentales

D'autres estimateurs à base de variables instrumentales ont été développés (*Arellano et Bover, 1995*) pour les modèles statiques (*Hausman et Taylor, 1981*) aussi bien que pour les modèles dynamiques (*Anderson et Hsiao, 1982 ; Arellano et Bond, 1991*). Ces modèles autorisent des corrélations entre effets individuels et variables explicatives, ainsi que la présence de variables invariantes dans le temps, de variables dépendantes retardées, ou encore de variables prédéterminées plutôt que strictement exogènes.

Dans les modèles de choix discret

Les modèles de choix discret sur données de panel permettent également de prendre en compte l'existence de corrélations entre les variables explicatives et les effets individuels. C'est le cas par exemple des modèles *logit* et *probit* à effets corrélés. *Sevestre (2002)* montre que lorsqu'on retient des hypothèses de type *Mundlak-Chamberlain*, l'estimation du modèle *probit* à erreurs composées ne pose pas plus de difficultés que dans le cas linéaire. Une autre possibilité consiste à utiliser l'estimateur du score de *Manski (1987)*, s'appuyant sur la comparaison de deux périodes, qui est robuste à l'existence d'endogénéité.

Carrasco (1998) développe un modèle de choix binaire à variables dépendantes endogènes mutuellement dépendantes dans le cadre de l'étude de l'impact de décisions de fertilité et de maternité sur la participation des femmes au marché du travail (« *switching probit model* »). Ce

modèle permet de prendre en compte la corrélation entre effets individuels et variables explicatives, mais aussi des variables prédéterminées et non plus seulement strictement exogènes, à travers une méthode non-paramétrique basée sur l'espérance conditionnelle des effets individuels qui est de forme non-paramétrique, comme dans *Arellano et Carrasco (2003)*.

Honoré (2002), Arellano (2003), Arellano et Bonhomme (2011) procèdent à des revues critiques des modèles non-linéaires sur données de panel. Ils comparent notamment les forces et les faiblesses des approches à effets fixes et à effets aléatoires. Ils relèvent que les approches de type *Mundlak-Chamberlain* constituent des extensions de la méthode à effets aléatoires dans lesquelles on paramétrise la distribution des effets individuels par rapport aux variables exogènes, de sorte que le modèle est alors entièrement paramétrique et peut être estimé par le MV, ce qui conduit sous certaines hypothèses de régularité à un estimateur consistant et asymptotiquement normal.

Honoré (2002), Arellano (2003), Arellano et Bonhomme (2011) rappellent que dans le modèle à effets aléatoires, toutes les quantités d'intérêt peuvent être estimées, et de plus les estimateurs des paramètres sont plus précis et peuvent être utilisés pour la prévision. Ils reposent toutefois sur une spécification correcte de la distribution des effets individuels, cette hypothèse étant parfois difficile à soutenir, surtout dans le cas d'un modèle dynamique. Dans ce cas, *Wooldridge (2001)* propose de spécifier la distribution des effets individuels conditionnellement aux variables explicatives et à la condition initiale. Les modèles dynamiques demeurent toutefois très difficiles à estimer en raison du problème des conditions initiales qu'on ne sait pas bien comment traiter.

Arellano et Carrasco (2003) présentent une classe de modèles de choix dichotomique sur données de panel dans lesquels les variables explicatives sont prédéterminées au lieu d'être strictement exogènes, et inclut des variables dépendantes retardées et des effets individuels corrélés avec les explicatives, la dépendance d'état étant spécifiée à travers l'espérance conditionnelle des effets individuels sous une forme non-paramétrique. Ils en présentent un estimateur *GMM* consistant et asymptotiquement normal. Ils relèvent, comme *Mundlak (1978)* pour le modèle linéaire, que la distinction entre effets fixes et aléatoires est arbitraire, et que le modèle à effets fixes peut être considéré comme un modèle à effets aléatoires dans lequel la distribution des effets individuels est non-spécifiée. Comme dans *Chamberlain (1984)*, la distribution des perturbations est spécifiée conditionnellement à la séquence complète des valeurs des variables explicatives.

Arellano (2003) et *Arellano et Bonhomme (2011)* posent le problème d'une manière plus globale et cherchent à savoir quels modèles sont identifiés en l'absence de restrictions sur les effets individuels, pour T fixé. Ils montrent qu'en règle générale, les restrictions de la distribution des effets individuels conditionnellement aux variables explicatives constituent une puissante source d'identification des modèles. Par ailleurs, ils soulignent que le problème des paramètres incidents peut être considéré comme un biais d'échantillon fini pour T fixé, mais que les estimateurs des effets individuels sont asymptotiquement consistants lorsque $T \rightarrow \infty$. Avec *Chamberlain (2010)*, ils montrent un large échec d'identification des modèles de choix discret sur données de panel lorsqu'aucune hypothèse n'est effectuée sur la distribution des effets individuels, en particulier lorsque les variables exogènes sont discrètes. Des hypothèses paramétriques sur la distribution des effets individuels conditionnellement aux variables explicatives sont donc en général

nécessaires pour forcer l'identification, qui apparaissent donc comme le meilleur compromis entre robustesse, recherche de précision et possibilités d'identification.

Arellano et Bonhomme (2011) soulignent finalement le retard de l'économétrie des modèles non-linéaires par rapport à l'économétrie linéaire des données de panel, en dépit de l'existence d'un large spectre de solutions dans des situations non-linéaires particulières (*Honoré et Kyriazidou, 2000 ; Arellano et Carrasco, 2003*). Ils indiquent que beaucoup de recherches aussi bien théoriques qu'empiriques restent à mener dans ce domaine.

ANNEXE 5

DISCUSSION SUR LA FIXATION DES SEUILS DE SATURATION

La notion de saturation a déjà été largement discutée dans le corps de la thèse, notamment dans les sections II.1.a, II.2.b.4 et II.3.c.2. Elle est susceptible de s'appliquer aussi bien à l'utilisation des biens qu'à leur possession, traduisant à la fois le caractère limité des besoins individuels en matière de biens d'équipement et l'utilité marginale décroissante de leur valeur d'usage. Cependant, une des difficultés avec l'idée de saturation réside dans la détermination des seuils de saturation, qui peut être effectuée, soit de manière purement empirique, par nature insatisfaisante sur le plan intellectuel, soit à partir d'une approche théorique, par nature plus risquée dans la mesure où elle contraint à émettre des hypothèses qui risquent de ne pas être vérifiées dans la pratique.

Ainsi, il importe d'observer qu'avant la décennie 2000, les anticipations de saturation de la demande furent régulièrement déjouées par le marché et le progrès technique, ce qui a contribué à discréditer l'idée même de saturation chez les prévisionnistes comme chez les ingénieurs transport, et à instaurer la croyance dans une croissance indéfinie de la circulation automobile, indexée sur l'augmentation des revenus ou la croissance économique. Or, celle-ci ne repose sur aucun fondement rationnel, et semble présenter certains aspects d'un dogme plutôt que d'une vérité scientifique. Elle est même contraire à toute expérience, qui montre que les êtres comme les choses passent tous par une phase de croissance, puis de déclin, ainsi qu'au bon sens, suggérant que les individus ne peuvent passer leur temps à se déplacer.

Par exemple, les premiers prévisionnistes n'avaient pas anticipé le développement du marché du second véhicule qui, à partir de la fin des années 1970, a pris le relais du primo-équipement en tant que moteur de la diffusion de l'automobile (*Choquet, 1983 ; Papon et Hivert, 2008 ; Armoogum et Roux, 2012*). D'une manière générale, l'ensemble des arguments tendant à pronostiquer une saturation de la demande ont été déjoués dans le passé, soit par les évolutions du marché de l'automobile et des modes de vie, soit par le progrès technique. Ainsi, par exemple, on s'attendait à ce que le vieillissement de la population aboutisse, en raison de la tendance au déclin des taux d'équipement et de l'usage de la voiture après la retraite, à une baisse de son usage moyen par adulte¹²⁵. Toutefois, les nouvelles générations de «seniors» issues du «baby-boom», plus motorisées que les retraités nés avant la fin de la seconde guerre mondiale, ont eu tendance, contrairement aux pronostics, à compenser la disparition de la mobilité professionnelle par une forte mobilité de loisirs, à la fois grâce à un niveau de vie en moyenne plus élevé que leurs aînés, ainsi qu'en raison de l'évolution des modes de vie et d'un meilleur état de santé (*Pochet, 2003 ; Pochet et Schéou, 2002*). D'autre part, le progrès technique a longtemps permis d'amortir

¹²⁵ Les retraités étant en moyenne moins mobiles que les actifs, en raison de la disparition des déplacements professionnels.

l'impact des augmentations de prix des carburants - par exemple consécutives aux chocs pétroliers des années 1970 - en permettant aux ménages d'acheter des véhicules plus efficaces sur le plan énergétique, de manière à préserver leur niveau de mobilité sous contrainte budgétaire, un effet traditionnellement connu comme l'«effet de rebond» (*Greene, 1992 ; Kemel et al., 2011 ; Litman, 2012*). Cet effet incite à la prudence sur les scénarios d'évolution future de l'usage de la voiture dans la mesure où une amélioration significative de l'efficacité énergétique du parc de véhicules permettrait de réduire de manière importante la contrainte budgétaire des ménages, voire leur dépendance à l'égard des prix des énergies fossiles en cas de diffusion massive des nouvelles motorisations de type électrique ou hybride, et par là-même de relancer la croissance de la demande de transport automobile.

Toutefois, nous ne croyons pas que ces évolutions remettent en cause de façon absolue l'idée même de saturation, bien que celle-ci pourrait être remise « *à la mode* », comme explication commode à la tendance actuelle au plafonnement de l'usage de la voiture. Les arguments théoriques présentés, combinés avec certains résultats empiriques consolidés depuis maintenant plusieurs décennies, permettent de soutenir de façon raisonnable l'idée de saturation à venir du trafic automobile. Le point important est ici que certaines améliorations techniques et certaines évolutions du marché permettent de repousser la limite de la croissance, mais non de la repousser indéfiniment. Elles confirment en revanche la difficulté d'établir ces seuils de saturation *a priori* sur une base théorique, ce qui peut rendre cette idée peu attractive pour les praticiens qui préféreront légitimement s'appuyer sur des arguments empiriques pour asseoir les modèles opérationnels.

D'une manière générale, la dé-corrélation actuellement constatée entre le trafic et la croissance économique contraint à un questionnement plus rigoureux sur la nature de leur relation, qui repose d'une manière cruciale sur la connaissance des comportements de mobilité, dont les approches purement économétriques font parfois l'économie¹²⁶. Au contraire, des auteurs tels que *Marchetti (1994)* observent que les comportements de mobilité semblent être bien davantage déterminés par des invariants que par les forces économiques. Le rôle particulièrement structurant des routines et des contraintes est aussi souligné par (*Paulo, 2006 ; Meissonnier, 2015*).

Il est frappant de remarquer qu'un phénomène analogue s'est produit pour les modèles de prévision de la demande de logements, qui n'ont pas toujours pris en compte de manière appropriée les effets de la diminution de la taille des ménages, résultant du processus de décohabitation - vieillissement de la population, effets des séparations - dans l'évaluation de la demande de logement. Aussi bien la demande de logement que la demande de transport manifestent une tendance sous-jacente, commune, profonde et séculaire, très bien connue des sociologues, à l'individualisation des sociétés contemporaines (*Simmel, 1988 ; Elias, 1991*). On a même montré que ce processus d'individualisation représentait, en tous cas pour ce qui est de la circulation automobile, le principal moteur de croissance de la demande, et qu'il revêt donc aussi une importance fondamentale au plan économique, pourtant curieusement ignorée dans la plupart des analyses qui considèrent toujours le ménage comme l'unité de base de la consommation.

¹²⁶ De ce point de vue, beaucoup reste sans doute à faire pour favoriser les collaborations entre le milieu des modélisateurs des transports et celui des chercheurs et des analystes de la mobilité.

La conception de l'équipement automobile comme un bien de niveau ménage se justifiait jadis dans un schéma de partage des rôles en fonction du genre qui était encore en vigueur dans les générations plus anciennes. Celles-ci étaient caractérisées, notamment, par un schéma prédominant de mono-activité, dans lequel le chef de ménage – généralement l'homme - exerçait seul une activité professionnelle, tandis que l'épouse demeurait le plus souvent au foyer en assurant les responsabilités familiales de soins aux enfants et d'éducation. On peut supposer que cette situation contribuait à maintenir les femmes dans une situation de retard par rapport aux hommes en matière d'accès à la conduite, à l'automobile et à son usage, et cela pour plusieurs raisons :

- D'une part, leurs besoins de mobilité étaient moins importants que ceux des hommes, n'ayant pas à exercer une activité professionnelle et par conséquent à effectuer des « navettes » vers un lieu de travail généralement éloigné du domicile ;
- D'autre part, l'absence d'activité professionnelle contribuait à les maintenir dans une situation de dépendance à l'égard de leur conjoint pour assurer leurs besoins de mobilité ;
- Enfin, le fait pour les ménages de disposer d'un seul revenu ne permettait généralement pas l'acquisition d'un second véhicule.

Dans ce schéma de répartition des rôles, les individus se voyaient donc attribués des rôles complémentaires en fonction du genre. Les activités des individus – aussi bien celles de l'homme que de la femme – trouvaient leur justification dans leur contribution au fonctionnement du ménage, qui constituait de ce fait l'unité pertinente de rattachement du véhicule, souvent unique, qui servait à la fois aux déplacements communs – par exemple les déplacements en vacances ou de loisirs le week-end – et aux déplacements du chef de ménage vers son lieu de travail. Nous ne revenons pas sur les facteurs qui ont contribué à modifier cet état de choses en favorisant la diffusion du second véhicule, qui ont déjà été largement décrits dans le cadre de la thèse. Ces évolutions sont allées de pair avec une transformation de la société dans laquelle les rôles respectifs des hommes et des femmes tendent à devenir de plus en plus indifférenciés, et dans laquelle les individus sont de plus en plus indépendants les uns des autres, de sorte que la justification des activités et des besoins ne trouve plus sa source au niveau du ménage, mais au niveau de l'individu. Le ménage ne trouve lui-même plus sa justification dans une source extérieure et transcendante – sacralité du mariage – mais dans un contrat librement consenti entre individus. Bien que surtout sensible au niveau du travail, cette évolution s'étend à d'autres sphères d'activité telles que les loisirs, les couples « modernes » cherchant autant que possible à concilier une vie de famille avec la préservation d'une part d'indépendance et donc d'autonomie personnelle¹²⁷.

Le moteur de cette évolution dans le cas de l'automobile est essentiellement sa diffusion aux femmes, ainsi que dans une moindre mesure aux enfants majeurs demeurés au foyer parental, même si ces derniers tendent souvent à utiliser les véhicules de leurs parents. La disposition d'un

¹²⁷ L'autonomie est ce qui rend l'indépendance possible : le désir d'indépendance pousse donc les individus à devenir autonomes.

véhicule personnel est en effet rendue nécessaire par la prolongation de plus en plus tardive du séjour chez les parents, compte tenu de l'allongement de la durée moyenne des études, et des difficultés et du coût croissant de l'accès à un logement autonome, en particulier dans les zones urbaines denses où le marché immobilier est tendu.

En raison d'une diffusion toujours plus grande de l'automobile, on pourrait donc penser que la croissance du trafic moyen par habitant est susceptible de se poursuivre indéfiniment. Toutefois, la diffusion de l'automobile est susceptible de présenter une limite supérieure, qui aurait simplement été mal évaluée dans le passé. On peut par exemple supposer que cette limite supérieure est inférieure ou égale à un véhicule par adulte et que, une fois que chaque individu serait équipé d'un véhicule personnel, le trafic par personne aurait tendance à saturer. En France et dans la plupart des pays européens, cette limite est encore loin d'être atteinte. Toutefois, certaines recherches (*Hivert et al., 2008*) mettent en évidence un dépassement de ce seuil d'un véhicule par personne aux Etats-Unis, au moins pour les ménages les plus aisés, avec une tendance à la spécialisation des véhicules supplémentaires, l'un d'entre eux pouvant par exemple être réservé aux déplacements à longue distance. On a également indiqué dans le cadre de la thèse que le seuil de saturation pouvait, à l'inverse, être strictement inférieur à un véhicule par adulte, compte tenu à la fois de l'absence de besoins dans certains cas – lieu de résidence en zone urbaine dense bien pourvue en alternatives de toutes sortes à la voiture – et de la persistance d'entraves, notamment financières, dans d'autres. Au point de vue empirique, il est possible de s'appuyer sur l'évolution observée des courbes d'équipement et de multi-équipement, qui indiquent bien une convergence progressive des niveaux de motorisation des ménages vers la saturation (*cf. chapitre I, graphique 2*). En particulier, les niveaux d'équipement tendent à plafonner depuis 2006.

Une considération importante à prendre en compte dans ce débat est que la voiture n'a pas été conçue d'emblée comme un équipement de l'individu, mais était au départ plutôt envisagée comme un bien du ménage. L'évolution du statut de la voiture en tant que bien d'équipement a donc résulté d'évolutions de la société, des modes de vie et des mentalités qui ne pouvaient être anticipées par les prévisionnistes. Ceci devrait conduire à la prudence dans les exercices de modélisation de la demande future en considérant qu'il s'agit en fait de projections bien davantage que de prévisions, c'est-à-dire qu'elles demeurent globalement valides en l'absence de transformations sociales majeures ou de crises graves et prolongées. Dans un monde en transformation rapide, il est bien entendu impossible, à l'horizon de plusieurs décennies, de garantir l'absence de tels bouleversements. C'est pourquoi le recours à la prospective devient de plus en plus indispensable, en complément de la prévision, pour imaginer l'ensemble des ruptures qui sont susceptibles de survenir et leurs répercussions sur la formation de la demande¹²⁸. La question de la saturation dans la diffusion de l'automobile demeure donc ouverte.

Toutefois, une autre partie de la question porte sur l'évolution des distances parcourues. Différents arguments théoriques et empiriques ont été déjà avancés dans le cadre de la section II.1.a. pour

¹²⁸ Cet exercice est du reste lui-même risqué. L'impact des technologies de la communication en fournit un exemple caractéristique, puisque les spéculations sur ce sujet anticipaient généralement une réduction du besoin de déplacements physiques, alors que les répercussions des nouvelles technologies sur les mobilités sont beaucoup plus ambivalentes.

justifier, là aussi, l'existence d'une limite possible à la progression des distances parcourues, ou du moins d'un ralentissement de leur croissance. L'un d'entre eux provient de la stabilité du budget-temps quotidien de transport en moyenne, qui a pour principale conséquence que la demande de transport ne peut croître qu'à proportion des vitesses de déplacements. De fait, l'observation des Enquêtes Nationales Transport successives tend à confirmer la *conjecture de Zahavi*, avec un budget-temps de déplacements stable d'une heure par personne en moyenne. Historiquement, l'accélération du progrès technologique depuis le *XIX^{ème}* siècle a entraîné le report de la demande vers des modes toujours plus rapides, entraînant une extension continue des bassins de vie. Notamment, l'augmentation de la distance et de la vitesse moyenne des déplacements quotidiens au travers des Enquêtes Nationales Transport successives semble surtout pouvoir être mise en relation avec celle de la part modale de la voiture, tendant à engendrer une forme d'urbanisation qui lui est propre. Cependant, en l'absence de saut technologique, on peut supposer que l'augmentation des vitesses sera limitée dans le temps, de même que celle des distances parcourues. Ainsi, dès lors qu'un niveau de saturation serait atteint dans la part modale de la voiture, la distance moyenne des déplacements quotidiens (et la vitesse de déplacements) tendrait elle-même à saturer. Or, l'augmentation de la part de la voiture dans les déplacements quotidiens est elle-même directement corrélée à l'augmentation de la proportion d'adultes qui disposent d'un véhicule personnel, permettant un report des modes plus lents (marche à pied, vélo, et pour certains types de déplacements, transports en commun) vers la voiture.

Un éclairage supplémentaire sur cette question peut être obtenu en tentant de préciser la nature de la relation entre la baisse tendancielle des élasticités au revenu et la saturation. Observons tout d'abord que celle-ci est rarement explicitée. Cependant, parmi les explications potentielles, on peut relever les arguments suivants, notés par exemple dans *ITF (2013)* :

- Pour les revenus les plus élevés, la demande se reporte vers les modes de transport plus rapides, en raison de l'augmentation de la valeur du temps, ou du coût d'opportunité du temps passé dans les transports. De plus, ces modes procurent un avantage en termes d'utilité intrinsèque des déplacements, dans la mesure où ils permettent de réaliser d'autres activités, de travail ou de loisirs, pendant le temps de déplacement ;
- Des revenus plus élevés autorisent des choix de lieux de résidence faiblement dépendants de l'automobile ;
- Avec un niveau de mobilité déjà élevé atteint par les ménages à hauts revenus, les bénéfices d'une mobilité supplémentaire sont limités ;

La diminution tendancielle de l'élasticité au revenu du trafic automobile est donc une conséquence, soit de la convergence du processus de diffusion de l'automobile vers la saturation, soit de l'utilité marginale décroissante des usages supplémentaires des véhicules, soit enfin d'une combinaison entre ces deux processus. Les analyses effectuées dans le cadre de cette thèse suggèrent cependant qu'elle est la conséquence de la maturité du marché de l'automobile, bien davantage que de phénomènes de rendements marginaux décroissants, l'utilisation des véhicules chez les adultes motorisés étant stationnaire, et caractérisée par une hétérogénéité et une sensibilité aux facteurs monétaires qui demeurent stables.

Une incertitude majeure concerne cependant l'évolution de la mobilité à longue distance et de sa distribution au sein de la population. En effet, les arguments énoncés jusqu'à présent s'appuient principalement sur les évolutions de la mobilité quotidienne. Or, les pratiques en matière de mobilité à longue distance contribuent également à l'usage total de la voiture. Contrairement à la mobilité quotidienne, la mobilité à longue distance a connu une forte progression au fil des décennies, qui peut être directement reliée à l'évolution du pouvoir d'achat ayant permis l'expansion des mobilités de loisirs. Une progression du pouvoir d'achat moyen par unité de consommation peut donc correspondre à des évolutions très différentes de la mobilité à longue distance moyenne selon la distribution de ces gains de pouvoir d'achat. Contrairement à la mobilité quotidienne qui est relativement stable, il n'y a pas de raisons de supposer la demande de transport à longue distance comme étant *a priori* limitée. Du moins, les marges de progression de la mobilité à longue distance sont sans doute encore considérables sous des hypothèses de progression du pouvoir d'achat¹²⁹ et de capacité à développer l'offre de transport pour répondre à l'accroissement de la demande. Toutefois, à l'heure actuelle, la mobilité à longue distance demeure encore très inégalement répartie au sein de la population, et il ne semble pas qu'elle doive connaître de forte progression au moins à moyen terme.

Certains auteurs suggèrent toutefois que, avec l'élévation du pouvoir d'achat et la saturation des opportunités offertes par la voiture, la demande de transport à longue distance tend à se reporter de l'usage de la voiture, qui peut être vu comme un service autoproduit à travers la possession du bien individuel qu'est la voiture, vers les services de transport que constituent le train à grande vitesse et l'avion, notamment en raison d'une augmentation de la valeur du temps accompagnant l'élévation des positions sociales. Cet argument semble recevable au vu des deux dernières enquêtes nationales transport, montrant que la mobilité à longue distance a progressé davantage du fait de son intensification chez les plus aisés, plutôt que par diffusion vers les couches sociales moyennes et populaires. En outre, le recours à la voiture marque une pause et la demande tend bien à se reporter vers les modes rapides que sont le train à grande vitesse et l'avion. La tendance à la saturation pourrait donc bien ne pas épargner non plus les déplacements à longue distance. Si ce schéma de croissance se maintient, la croissance de la mobilité à longue distance ne remettrait donc pas en cause l'hypothèse de croissance limitée de l'usage moyen de la voiture par adulte. En tout état de cause, la saturation de l'usage de la voiture pour les déplacements quotidiens permet tout au moins d'anticiper un ralentissement de la croissance du trafic automobile, dès lors que celui-ci ne reposerait plus que sur le développement des mobilités de loisirs et la croissance démographique.

De nombreux arguments permettent donc de soutenir l'hypothèse d'un régime de croissance limitée de la demande de transport. Ces approches ne permettent pas toutefois à ce stade de déterminer si le plafonnement actuel correspond bien à l'atteinte de ce seuil de saturation, ou bien à un palier temporaire dû aux circonstances économiques avant une reprise future de la croissance, la saturation devant être atteinte à une date indéterminée dans le futur. L'évolution

¹²⁹ Soit par accroissement du pouvoir d'achat des plus aisés, entraînant une augmentation de leur niveau déjà très élevé de mobilité à longue distance, soit par redistribution du pouvoir d'achat en direction des classes moyennes, entraînant une réduction des inégalités en matière de loisirs. Des tests de sensibilité aux effets de distribution du revenu pourraient être intéressants dans le cadre d'exercices de projection de la demande.

future de l'usage moyen de la voiture par adulte dépendra notamment de celle des niveaux d'équipement des ménages. Ces derniers sont encore susceptibles d'augmenter en cas d'évolution favorable de leur pouvoir d'achat, des marges de progression subsistant notamment pour la diffusion du multi-équipement, et à l'inverse ils pourraient diminuer en cas de baisse du pouvoir d'achat, par exemple dans l'hypothèse où nous serions entrés dans une société sans croissance. Le niveau moyen d'utilisation des véhicules par les personnes motorisées est également susceptible d'évoluer à la hausse ou à la baisse selon l'évolution future du prix du carburant et de la consommation unitaire des véhicules, qui dépendra à la fois du progrès technique et des incitations gouvernementales plus ou moins favorables à la pénétration des nouvelles motorisations, le parc de véhicules du ménage étant caractérisé par une grande inertie et n'évoluant que lentement. Une évaluation de la sensibilité des projections des niveaux d'usage futurs de la voiture à différentes hypothèses d'évolution du pouvoir d'achat, du prix du carburant et de la consommation des véhicules peut faire partie des perspectives d'application intéressantes de ce modèle dans le prolongement de la thèse.

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Part des dépenses automobiles et de leurs différentes composantes dans le budget des ménages.....	23
Graphique 2 : Pourcentage de ménages motorisés et multi-motorisés.....	36
Graphique 3 : Nombre de voitures particulières par adulte en 1982, 1994 et 2008.....	37
Graphique 4 : Partage modal au sein des déplacements quotidiens en 1982, 1994 et 2008.....	41
Graphique 5 : Part modale de la voiture au sein des déplacements quotidiens par sexe et groupe d'âge, en 1994 et 2008.....	43
Graphique 6 : Effets de localisation et partage modal au sein des déplacements quotidiens, en 1994 et 2008.....	46
Graphique 7 : Evolution du nombre de voitures par personne et de la mobilité en voiture dans les agglomérations françaises (EMD standard CERTU).....	54
Graphique 8 : Evolution de la mobilité quotidienne par modes en Ile-de-France.....	56
Graphique 9 : Taux d'équipement des ménages en vélos.....	57
Graphique 10 : Distance moyenne d'un déplacement entre le domicile et le lieu de travail, et part modale de la voiture pour les déplacements vers le travail.....	61
Graphique 11 : Circulation des voitures particulières (VP) et des véhicules utilitaires légers (VUL) à l'échelon national.....	65
Graphique 12 : Kilométrage moyen circulé par adulte, en fonction de la zone de résidence et de l'année.....	66
Graphique 13 : Circulation engendrée par les véhicules motorisés par ménage, par personne et par véhicule.....	67
Graphique 14 : Circulation engendrée par véhicule, en indice base 10 en 1990, dans différents pays de l'OCDE.....	68
Graphique 15 : Taux de motorisation en France métropolitaine.....	70
Graphique 16 : Trafic moyen par adulte et par véhicule, nombre moyen de voitures par adulte, revenu réel par unité de consommation, prix du carburant réel, pouvoir d'achat énergétique, niveau de contrainte économique, en indice base 100 en 1974.....	138
Graphique 17 : Trafic moyen et nombre de voitures par adulte, par zone de résidence.....	140
Graphique 18 : Evolution des prix des carburants en niveau et en indice.....	146
Graphiques 19 : Composantes de la croissance de l'usage de la voiture dans une stratégie de contrôle du coefficient budgétaire transports et Prix du carburant, coefficient budgétaire et usage de la voiture en indice base 1 en 1993.....	149
Graphiques 20 : Usage moyen de la voiture réel et simulé selon un modèle basé sur le taux de motorisation et le pouvoir d'achat énergétique.....	158
Graphiques 21 : Taux de vulnérabilité des ménages par zone de résidence et niveau de vie.....	188
Graphique 22 : Illustration du problème d'effets hétérogènes et non-stationnaires.....	200

Graphique 23 : illustration du problème de l'asymétrie des effets.....	205
Graphique 24 : Estimations transversales, longitudinales de court terme et longitudinales de long terme.....	208
Graphiques 25 : Taux annuel de détenteurs du permis, globalement et par sexe.....	244
Graphiques 26 : Taux de détenteurs du permis de conduire par âge et génération.....	247
Graphiques 27 : Taux de détenteurs du permis par génération et âge selon le sexe.....	248
Graphique 28 : Taux de détenteurs du permis de conduire par quartile de niveau de vie.....	251
Graphique 29 : Taux de détenteurs du permis par niveau d'études et année.....	252
Graphique 30 : Niveaux d'études par sexe et génération.....	253
Graphique 31 : Taux de détenteurs de permis par âge dans les générations G_{13} (1975-80) et G_{14} (1980-85), dans les zones rurales et dans l'agglomération de Paris.....	258
Graphique 32 : Taux annuel de détenteurs du permis par sexe et zone de résidence.....	260
Graphique 33 : Taux annuel de détenteurs de permis par taille d'agglomération.....	260
Graphique 34 : Taux de détenteurs de permis par sexe dans les grandes agglomérations.....	261
Graphique 35 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par sexe.....	263
Graphique 36 : Nombre de voitures par adulte par type de motorisation.....	264
Graphique 37 : Evolution de la structure du parc de véhicules par type de motorisation.....	264
Graphique 38 : Nombre de voitures par adulte par type de motorisation, selon le sexe.....	265
Graphique 39 : Taux de motorisation des détenteurs du permis par âge et cohorte.....	266
Graphiques 40 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par âge, sexe et génération.....	267
Graphiques 41 : Taux de motorisation des femmes titulaires du permis par âge et génération selon la situation conjugale.....	268
Graphique 42 : Taux de motorisation annuel des détenteurs de permis selon le statut à l'égard de l'activité professionnelle.....	269
Graphiques 43 : Taux d'activité professionnelle par âge et génération selon le sexe.....	270
Graphiques 44 : Taux d'activité des femmes selon l'existence d'une vie de couple.....	271
Graphique 45 : Taux d'actifs par sexe et année.....	271
Graphique 46 : Taux d'activité professionnelle des détenteurs et détentrices de permis au regard de la situation conjugale.....	272

Graphique 47 : Taux de motorisation des détenteurs et détentrices de permis en fonction du statut vis-à-vis de l'activité et du sexe.....	272
Graphique 48 : Taux de motorisation des détenteurs et détentrices de permis au regard de la situation conjugale.....	274
Graphique 49 : Taux de motorisation des détentrices de permis au regard de la situation conjugale et de l'existence d'activité professionnelle.....	275
Graphique 50 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par année et type de zone.....	276
Graphique 51 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par taille d'agglomération.....	276
Graphique 52 : Taux de motorisation des détenteurs de permis par sexe et type de zone de résidence.....	277
Graphique 53 : Taux annuel de motorisation par sexe et type de zone de résidence.....	277
Graphique 54 : Evolution du taux de motorisation des détenteurs du permis par quartile.....	279
Graphique 55 : Niveau de vie moyen selon la génération et la position dans le cycle de vie.....	280
Graphiques 56 : Kilométrage moyen annuel par adulte et par adulte motorisé, globalement et en fonction du sexe.....	281
Graphique 57 : Kilométrage annuel moyen par adulte motorisé selon l'âge et la cohorte.....	283
Graphiques 58 : Kilométrage moyen par adulte motorisé par âge et cohorte selon le sexe.....	284
Graphiques 59 : Evolution du kilométrage par adulte équipé par zone et par quartile.....	289
Graphique 60 : Utilisation moyenne des véhicules chez les adultes motorisés par sexe et type de zone de résidence.....	290
Graphique 61 : Kilométrage par adulte en fonction du type de carburant.....	293
Graphiques 62 : Nombre de voitures par adulte par type de motorisation selon le sexe et la situation de famille.....	294
Graphique 63 : Evolution du kilométrage moyen par adulte motorisé par type de motorisation..	295
Graphique 64 : Evolutions des élasticités de la probabilité d'avoir le permis de conduire.....	325
Graphique 65 : Evolutions des élasticités de la probabilité de motorisation des détenteurs du permis de conduire.....	334
Graphique 66 : Evolutions des élasticités au revenu de l'usage des véhicules chez les adultes motorisés, par sexe.....	346

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Qualité d'ajustement et estimation des paramètres d'un modèle d'usage de la voiture basé sur le taux de motorisation et le pouvoir d'achat énergétique, par quartile de revenu et zone de résidence, estimation sur la période 1974-95.....	154
Tableau 2 : Indicateurs des besoins d'usage de la voiture des ménages et des contraintes susceptibles de les entraver, par périodes, de 1977 à 2010.....	181
Tableau 3 : Répartition de la population par génération et sexe.....	244
Tableau 4 : Taux de détenteurs du permis par génération et sexe.....	245
Tableau 5 : Taux de titulaires du permis par groupe d'âge dans les générations d'hommes G_{12} (1970-75) à G_{15} (1985-90).....	249
Tableau 6 : Taux de permis par groupe d'âge dans les générations de femmes G_{12} à G_{15}	249
Tableau 7 : Taux de titulaires du permis de conduire en fonction du sexe, de la génération et du type de ménage.....	250
Tableau 8 : Taux de détenteurs du permis par sexe et niveau d'études.....	253
Tableau 9 : Répartition des individus par niveau d'études selon le sexe.....	253
Tableau 10 : Taux de détenteurs du permis par niveau de vie et d'études.....	254
Tableau 11 : Taux de titulaires du permis en fonction du sexe, type de zone de résidence et de la taille d'agglomération.....	256
Tableau 12 : Répartition de la population par type de lieu de résidence selon la possession du permis de conduire.....	256
Tableau 13 : Répartition des adultes par type de lieu de résidence selon la possession du permis de conduire et le niveau de vie.....	257
Tableau 14 : Proportion d'adultes motorisés selon la détention du permis.....	262
Tableau 15 : Kilométrage moyen par adulte et par adulte motorisé selon le sexe et l'activité professionnelle.....	285
Tableau 16 : Kilométrage moyen par adulte et par adulte motorisé selon le sexe et la situation conjugale.....	286
Tableau 17 : Kilométrage par adulte et par adulte motorisé selon le sexe et le niveau de vie.....	287
Tableau 18 : Kilométrage par adulte équipé en fonction du niveau d'études et du sexe.....	288
Tableau 19 : Kilométrage par adulte équipé en fonction du niveau de vie et d'études.....	288
Tableau 20 : Kilométrage par adulte motorisé par type d'espace et selon le sexe.....	289
Tableau 21 : Indicateurs globaux de taux d'équipement, de kilométrage, de consommation de carburant et de budget annuel, selon le sexe.....	300
Tableau 22 : Synthèse des déterminants du permis de conduire et de la motorisation des détenteurs du permis de conduire.....	304
Tableau 23 : Synthèse des déterminants de l'usage des véhicules chez les adultes motorisés.....	305
Tableau 24 : Structure de l'échantillon initial et final, avant et après repondération.....	308
Tableau 25 : Table des paramètres, modèle de probabilité d'être titulaire du permis de conduire avec effets spécifiques individuels – modèle hommes.....	321
Tableau 26 : Table des paramètres, modèle de probabilité d'être titulaire du permis de conduire avec effets spécifiques individuels – modèle femmes.....	322

Tableau 27 : Table des effets marginaux et des élasticités dans le modèle de probabilité d'avoir le permis de conduire.....	323
Tableau 28 : Elasticités de la probabilité d'avoir le permis de conduire au revenu et à la log-densité, par zone de résidence et quartile de niveau de vie, modèles hommes et femmes.....	324
Tableau 29 : Table des paramètres, modèle de motorisation des détenteurs de permis avec effets spécifiques individuels, modèle hommes.....	327
Tableau 30 : Table des paramètres, modèle de motorisation des détentrices du permis avec effets spécifiques individuels, modèle femmes.....	329
Tableau 31 : Table des effets marginaux et des élasticités dans le modèle de motorisation des titulaires du permis.....	332
Tableau 32 : Estimations du modèle log-linéaire d'usage des véhicules sur la période 1994-2010 – Hommes.....	339
Tableau 33 : Estimations du modèle log-linéaire d'usage des véhicules sur la période 1994-2010 – Femmes.....	342
Tableau 34 : Estimateurs des MCQG des paramètres de l'utilisation des véhicules chez les personnes disposant d'un véhicule personnel, avant et après l'an 2000.....	344
Tableau 35 : Les étapes du processus de diffusion de l'automobile et les évolutions dans les usages des véhicules.....	350
Tableau 36 : Tableau de synthèse des élasticités par sexe et par niveau, dans un processus de décision séquentiel.....	351
Tableau 37 : Table des paramètres d'un modèle de motorisation dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les hommes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman.....	361
Tableau 38 : Table des paramètres d'un modèle d'usage avec régresseurs auxiliaires dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les hommes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman.....	362
Tableau 39 : Table des paramètres d'un modèle de motorisation dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les femmes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman.....	363
Tableau 40 : Table des paramètres d'un modèle d'usage avec régresseurs auxiliaires dans le cadre d'un modèle Tobit II pour les femmes, estimé par la méthode en deux étapes de Heckman.....	364

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1 : Le suréquipement des ménages en voitures particulières.....	142
Encadré 2 : Sensibilité au prix à la pompe et au coût d'usage des véhicules.....	151
Encadré 3 : Le problème de l'auto-sélection résidentielle.....	166
Encadré 4 : Le permis à points et l'irréversibilité du permis de conduire.....	167
Encadré 5 : La motorisation, une décision au niveau de l'individu ou au niveau du ménage ?.....	171
Encadré 6 : Deux manières différentes de calculer le taux de motorisation - nombre de véhicules par adulte et proportion d'utilisateurs principaux.....	172
Encadré 7 : la perception de la dépendance automobile d'après l'ENTD.....	185
Encadré 8 : La qualité de remplissage des informations individuelles en fonction du nombre d'adultes.....	238
Encadré 9 : Méthode des résidus simulés.....	242
Encadré 10 : les échelles d'Oxford et de l'OCDE.....	243
Encadré 11 : Caractéristiques des personnes sans permis.....	255
Encadré 12 : Zonages fixes ou évolutifs ?.....	259
Encadré 13 : Le choix de cylindrer ou de ne pas cylindrer.....	310
Encadré 14 : Loi de probabilité, densité, fonction de répartition.....	428

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Un exemple extrême de non-équivalence entre estimations transversales et longitudinales.....	422
Annexe 2: Le problème de sélection endogène.....	426
Annexe 3 : Les « bonnes propriétés » des estimateurs statistiques.....	428
Annexe 4: Les modèles sur données de panel.....	431
-La modélisation de l'hétérogénéité sur données de panel.....	431
-Les modèles linéaires sur données de panel.....	433
-Les modèles de choix dichotomiques sur données de panel.....	437
-Effets marginaux et élasticités.....	448
Annexe 5: Le relâchement des hypothèses de distribution des effets individuels.....	454
Annexe 6 : Discussion sur les seuils de saturation.....	459